This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING

SEEHAFENBAU

von

F. W. OTTO SCHULZE
Professor des Wasserbaues
an der Technischen Hochschule in Danzig

BAND I

ALLGEMEINE ANORDNUNG DER SEEHÄFEN

Mit 248 Textabbildungen

BERLIN 1911
VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN

Nachdruck, auch auszugsweise, verboten.

Copyright 1910 by Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag, Berlin.

Rechnc. 12.21.42 DL1

Vorwort.

Als vor einiger Zeit eine Anregung der Verlagsbuchhandlung Wilhelm Ernst u. Sohn an mich gelangte, den dritten, das Meer behandelnden Teil des Handbuches der Wasserkunst von Gotthilf Hagen, dessen zweite Auflage im Jahre 1878 erschienen war, nach den heutigen Ansichten und Errungenschaften der Technik neu zu bearbeiten, kam ich zu der Ansicht, daß es richtiger sei, das klassische Werk des großen Meisters unangetastet zu lassen und den Versuch zu machen, ein neues, selbständiges Lehrbuch des „Seehafenbaues" zu schaffen. Der Entschluß wurde mir um so leichter, als mir schon seit längerer Zeit der Gedanke vorschwebte, einzelne Teile des von mir an der hiesigen Hochschule vertretenen Lehrgebiets ausführlicher zu bearbeiten, als es bisher der Fall war.

In dem vorliegenden Werke über „Seehafenbau", dessen erster Band zur Zeit fertiggestellt ist, soll alles das enthalten sein, was bei dem heutigen Stande der Wissenschaft und Technik im In- und Auslande für den Entwurf, den Bau und die Unterhaltung der Seehäfen wissenswert ist.

Bei der Einteilung des Stoffes leitete mich der Gesichtspunkt, daß der Leser am schnellsten Verständnis für den Gegenstand und an Überblick gewinnt, wenn er zunächst mit dem Zweck und Wesen der Seehäfen, mit den an sie zu stellenden Anforderungen, mit ihren Hauptteilen und ihrer Bedeutung bekannt gemacht wird, ehe auf Einzelheiten eingegangen wird. Gerade im Seebau kommt es darauf an, bei der vielfachen Unmöglichkeit, feste Formeln und bestimmte Regeln aufzustellen, allgemeines Verständnis zu erwecken, um bei der Vielgestaltigkeit der Anlagen und den fast stets anderen Verhältnissen zu richtigem Gefühl für die zweckmäßigsten Maßnahmen zu erziehen.

Aus diesem Grunde wird in Kapitel I ein kurzer, geschichtlicher Überblick über die Entwicklung des Seehafenbaues gegeben unter Hinweis auf deren engen Zusammenhang mit derjenigen der Seeschiffahrt und des Schiffsbaues. Eine Anzahl Zusammenstellungen verschiedener Schiffsgrößen und -arten soll es erleichtern, bei dem Entwurf eines Hafens die richtigen Abmessungen zugrunde zu legen.

In Kapitel II werden die verschiedenen Arten von Seehäfen und die allen Häfen gemeinsamen Erfordernisse erörtert und in Kapitel III und IV die besonderen Eigentümlichkeiten der Kriegshäfen, Zufluchts- und Fischereihäfen und der Handelshäfen behandelt Überall wurde hierbei Wert

232998

darauf gelegt, durch kennzeichnende Beispiele die erwähnten Formen und die abgeleiteten Regeln der Anschauung näherzuführen. Dies ist auch der Grund, weshalb die Zusammenstellung und Besprechung von Beispielen in dem ersten Teile des Werkes Platz fand.

Bei der Auswahl der Beispiele war neben der Absicht, zur Erläuterung den allgemeinen Erörterungen besonders zutreffende Formen zu geben, der Gedanke mitbestimmend, daß in einem deutschen Werke die wichtigeren deutschen Häfen möglichst vollständig behandelt sein müssen. Auf ausländische Beispiele wurde nur so weit zurückgegriffen, wie in Deutschland kennzeichnende Beispiele fehlten oder wie es die Bedeutung der Haupthäfen des Auslandes rechtfertigte.

Immer blieb aber bei der Behandlung eines jeden Beispiels der Gesichtspunkt leitend, die vorher gegebenen allgemeinen Erörterungen durch den Hinweis auf ihre wirkliche Ausführung zu erläutern.

Die in Kapitel III und IV enthaltenen Beispiele bilden den Grundstoff für die späteren Abschnitte, auf den immer wieder Bezug genommen wird.

Da das Werk selbständig bestehen soll, hielt ich es ferner für erforderlich, in den folgenden Kapiteln das wissenschaftliche Rüstzeug, soweit es für den Hafenbauingenieur in Betracht kommt, vollständig, aber kurz zusammenzustellen. Es behandelt daher Kapitel V die für den Hafenbau wichtigen Naturerscheinungen, Kapitel VI die vorbereitenden Arbeiten und Kapitel VII die Baustoffe und ihr besonderes Verhalten im Seewasser.

In den beiden letzten Kapiteln wird auf den eigentlichen Bau der Seehäfen eingegangen, und zwar in Kapitel VIII die Anordnung der Hafenaußenwerke und in Kapitel IX die Anordnung, Gestalt und Abmessungen der Hafenbauten erörtert, wobei auf die bereits gegebenen Beispiele Bezug genommen wird bezw. deren Zahl durch Hinzufügung neuer, wichtige Einzelheiten darstellender Beispiele ergänzt und vermehrt wird.

Infolge dieser Anordnung des Stoffes stellt der erste Band des Werkes ein in sich geschlossenes Ganzes dar, das alles Wissenswerte für die allgemeinen Fragen der Seehäfen und für die Aufstellung allgemeiner Entwürfe darbietet.

In dem folgenden zweiten Bande wird die Bauweise und Ausführungsart aller Einzelheiten, wie der Wellenbrecher und Molen, der Ufermauern, der Ausstattung der Ufer, der Schleusen, der Kräne, der Beleuchtung und Bezeichnung usw. behandelt werden.

Behufs erschöpfender Behandlung der einzelnen Kapitel war ich bemüht, meine eigenen, auf der Baustelle, auf Reisen und durch Studium der einschlägigen Werke des In- und Auslandes erworbenen Kenntnisse zu vermehren, viele Angaben entstammen dem großen Entgegenkommen der von mir befragten Hafenbauverwaltungen.

Allen denen, die mich durch Übersendung von Plänen und anderen Unterlagen unterstützten, spreche ich daher an dieser Stelle meinen wärmsten Dank aus und knüpfe daran die Bitte an alle Fachgenossen, mich auch fernerhin in meinem Bestreben zu unterstützen, für die Heranbildung eines tüchtigen

Nachwuchses und zur Ehre und Entwicklung der technischen Wissenschaft ein möglichst vollständiges, praktisch brauchbares Werk zu schaffen.

Bei der Anfertigung der Skizzen zu den zum größten Teil neu angefertigten Abbildungen unterstützte mich in seinen Mußestunden mein Assistent, Herr Diplomingenieur Heinrich Schalk.

Die Benutzung des Werkes hoffe ich durch die übersichtliche Anordnung des Stoffes, durch eine vorangestellte Inhaltsübersicht der einzelnen Kapitel und ein Verzeichnis der Abbildungen sowie durch das am Schlusse hinzugefügte Sachverzeichnis erleichtert zu haben

Besonderen Dank verdient endlich der bewährte Verlag von Wilhelm Ernst u. Sohn in Berlin, der keine Mühe und Kosten scheute, um die Ausstattung des Werkes zu einer recht vollkommenen zu machen.

Danzig-Langfuhr, im September 1910.

F. W. Otto Schulze.

Inhaltsverzeichnis.

Kapitel I. Einleitung, Zusammenhang von Seeschiffahrt und Hafenbau, Beispiele für Schiffsabmessungen. Seite

Was ist ein Hafen 1
Geschichtliches 2
Neuzeitliche Entwicklung der Seeschiffahrt und des Hafenbaues 4
Abmessungen der größten deutschen Handelsdampfer 6
Überblick über die neuesten Hafenbauarbeiten 6
Zusammenstellung der Abmessungen einiger Haupt-Kriegsschiffsformen verschiedener Länder 8
Zusammenstellung der Abmessungen einiger Handelsdampfer 9
„ „ „ „ Haupt-Segelschiffsformen . . . 9
„ „ „ von Fischereifahrzeugen 10

Kapitel II. Arten und allgemeine Erfordernisse der Häfen.

Arten der Häfen 10
Allgemeine Erfordernisse eines Hafens 12
Reede 13
Ausreichende Wassertiefe, guter Ankergrund, genügende Fläche 19
Möglichkeit von Erweiterungen 20
Stromreeden 20
Kais und Molen in Reeden, Anlaufhäfen 21
Hafenbecken, offene und geschlossene 22
Vorhäfen 23
Schiffs-Bau- und Ausbesserungsanstalten 24
Verbindungswege 24

Kapitel III. Besondere Erfordernisse und kennzeichnende Beispiele für Kriegshäfen, Zufluchtshäfen und Fischereihäfen.

Kriegshäfen 25
Allgemeine Lage 26
Anordnung der Hafenbecken 26
Kiel 26
Wilhelmshaven 29
Danzig 31
Zufluchtshäfen 33
Besondere Anforderungen an die Lage 33
Beispiele in der Ostsee: Hela, Neukuhren 35
Beispiele an der Nordsee: Norderney, Urk 36
Fischereihäfen 37
Unterschied zwischen Küstenfischerei- und Seefischereihäfen 38
Besondere hafenbautechnische Erfordernisse 39

Seite

Wassertiefe 39
Lage 40
Ausstattung der Küstenfischereihäfen 40
Memel 42
Kolbergermünde 43
Saßnitz 44
Ausstattung der Seefischereihäfen 45
Emden 46
Geestemünde 46
Nordenham 48
Altona 49
Hamburg 50
Kuxhaven 50
Ymuiden 53

Kapitel IV. Besondere Erfordernisse und kennzeichnende Beispiele für Handelshäfen 54
Allgemeines über die Bedeutung der Lage 55
Binnenseehäfen 56
Anlaufhäfen 56
Technisch vollkommene Betriebseinrichtungen, Schleusen, Lösch- und Ladeeinrichtungen 56
Leistungsfähige Binnenverkehrswege, innige Verbindung mit den Hafenanlagen 58
Trennung verschiedener Verkehrsarten 59
Reisendenverkehr 59
Feuergefährliche Gegenstände. Petroleum 60
Schiffsbau- und Ausbesserungsanlagen 60
Schwerlastkran 60
Großgewerbe- oder Industriehäfen 60
Vorhandensein alter Handelsbeziehungen 60
Einfache Verwaltungseinrichtungen 61
Freihäfen, Freibezirke, zollfreie Niederlagen 61
Zusammenfassung 62
Die Hafenanlagen von Stettin 62
Der Danziger Hafen 66
Der Königsberger Hafen 68
Der Lübecker Hafen 70
Emden 73
Harburg 76
Bremen 79
Bremerhaven 83
Hamburg 86
Kuxhaven 91
Rotterdam 92
Antwerpen 95
Zeebrügge und Brügge 97
London 99
Liverpool 102
Manchester 104
Le Havre 106
Marseille 109
Genua 111
Triest 113
New-York 115

Seite

Kapitel V. Für den Hafenbau wichtige Naturerscheinungen.

1. Flut und Ebbe 118
Allgemeines 118
Entstehung der Flut und Ebbe 119
Unregelmäßigkeiten 121
Flutgrößen und Verhalten der Flutwellen 123
Sturmfluten 126
Gezeitentafeln, Hafenzeit 127
Selbsttätige Gezeitenpegel 128
Flutkurven 129
Flutwellen 131
Tideströmungen 132
Flut und Ebbe in Flußmündungen 133
2. Wellen 137
Entstehung der Wellen 137
Einzelheiten der Wellenbewegung 140
Verhalten der Wellen gegen ansteigenden Grund 143
Richtung der Wellen 144
Verhalten der Wellen beim Einlaufen in Buchten 147
Höhe der Wellen 148
Gewalt der Wellen, Wellenstoßmesser 149
Stoßwirkung der Wellen 154
Einzelwellen 156
Erdbebenwellen 157
Beruhigung der Wellen durch Oel 157
3. Winde 158
Entstehung der Winde 158
Ablenkung der Windrichtungen 158
Bezeichnung der Windrichtungen, Isobaren 160
Bewegungsgesetze 161
Arten der Winde: Passate, Monsune, Land- und Seewinde 162
Stürme 164
Windbeobachtungen, Wind- oder Wetterfahnen 166
Windstärke, Winddruck, Windgeschwindigkeit 166
Anemometer 167
Verwertung der Windbeobachtungen 168
Darstellung der Windbeobachtungen 170
Wirkung des Windes auf das Meer. Aufstau der Wasserflächen . . . 172
Wasserstände 173
Sturmfluten 173
Sturmwarnungen und Wetternachrichten 176
Nebel, Eisverhältnisse 178
4. Strömungen 180
Allgemeines und Bezeichnungen 180
Strömungen 181
Tideströmungen 182
Windströmungen und Küstenströme 184
Oertliche Strömungen 188
Beobachtung der Strömungen 190

Kapitel VI. Vorbereitende Arbeiten.

Vorbemerkung 193
Geographische und geologische Unterlagen 193
Tiefenmessungen und Tiefenpläne 194

Seite

Ortsbestimmungen bei Peilungen 196
Peilvorrichtungen 200
Elektrisches Tieflot 203
Wasserstandsbeobachtungen 206
Windbeobachtungen 207
Wellenmessungen, Strömungen, Wärmebeobachtungen 208
Bestimmung des Salzgehaltes 210
Schlickgehalt 212
Boden- und Grundwasseruntersuchungen, Probebelastungen 213
Grundwasserstand 214
Wirtschaftliche Vorarbeiten 215

Kapitel VII. Die Baustoffe und ihr besonderes Verhalten im Seewasser.

Holz 216
Natürlicher Verfall 217
Zusammenstellung der Höhenlage von Pfahlrostebenen 218
Zerstörung durch Schädlinge; der Bohrwurm 218
Andere Holzschädlinge 220
Abnutzung 221
Schutz durch Anstriche und Durchtränkungen 221
Schutz durch Umhüllung 222
Anwendung ausländischer Holzarten 223
Eisen, Gußeisen 224
Anstriche 226
Natürliche Steine 226
Künstliche Steine 230
Natürliche hydraulische Kalke und hydraulische Zuschläge 230
Künstliche Zemente, Portlandzement 231
Eigenschaften des Portlandzementes 232
Zuschlagstoffe zum Mörtel und Beton 234
Mischungsverhältnisse 236
Zusammenstellung von Portlandzement-, Mörtel- und Betonmischungen . . . 240
Andere künstliche Zemente 241
Hydraulische Mörtel mit Zuschlagstoffen 242
Zusammenstellung von Zement-Traß, Puzzolan-Kalk und Traß-Kalk-Mörtel und Beton-Mischungen 243
Ausführung der Mörtel- und Betonmischungen 244
Verblendung von Betonkörpern 244

Kapitel VIII. Anordnung der Hafenaußenwerke.

I. Allgemeines und Bezeichnungen 246
Molen 246
Leitdämme, Wellenbrecher 247
Allgemeine Gesichtspunkte 247
Anordnung der Hafeneinfahrt 248
Zusammenstellung von Hafeneinfahrtweiten 251
II. Häfen an felsigen und wenig veränderlichen Küsten 255
a) Schutz durch eine von einer Seite der Bucht oder vom Ufer ausgehende Mole 256
b) Schutz durch zwei von den Ufern ausgehende Molen 258
c) Schutz durch einen Wellenbrecher 261
d) Schutz durch Anwendung von Molen und Wellenbrechern 262
III. Häfen an veränderlichen, sandigen Küsten 264
Allgemeines Verhalten der Sandküsten 264

Seite

Verhalten der wandernden Sände gegenüber künstlichen Einbauten 267
Zur Küste senkrecht gerichtete Einbauten 268
Gegen die herrschenden Winde und den Küstenstrom geneigte Einbauten 269
Mit der Küstenströmung geneigt gerichtete Einbauten 270
Küsten mit Gerölle 271
Schlußfolgerungen für die Anordnung der Hafenaußenwerke an veränderlichen Küsten 271
A. Häfen an der freien Küste 272
a) Häfen mit zwei schräg aufeinander zulaufenden Molen 272
Beispiele 273
b) Häfen aus zwei schräg aufeinander zulaufenden Molen und parallel zur Küste gerichteten Wellenbrechern 277
Beispiele 278
c) Häfen aus einer schräg gegen das Ufer gerichteten Mole 280
Beispiele 280
d) Häfen aus Wellenbrechern oder Molen in der See mit durchbrochener Verbindung mit dem Lande 281
Beispiele 282
B. Häfen an der Mündung von Flüssen, von Haffen, Seen oder Lagunen und von Entwässerungskanälen 284
a) Häfen an der Mündung von Flüssen 285
1. In Binnenmeeren 285
Beipiele: Kolbergermünde, Stolpmünde, Neufahrwasser, Rügenwaldermünde, Windau, Sulinamündung, Mississippimündung . . 292
2. In Meeren mit Ebbe und Flut 303
Beispiele: Dublin, Tynemündung, neue Maasmündung 304
b) Häfen an der Mündung von Haffen oder Lagunen 307
Beispiele: Malamocco, Lido, Swinemündung, Hafen von Pillau, Hafen von Memel 309
c) Häfen an der Mündung von Entwässerungskanälen ohne natürliche Spülung 317
Beispiel: Dünkirchen 318
Außerdem Hafen von Nieuwediep und Wilhelmshaven 320
d) Durchbrochene Dämme, Beispiel 321

Kapitel IX. Anordnung, Gestalt und Abmessungen der Hafenbecken.

I. Anordnung der Hafenbecken 322
a) Offene Hafenbecken 322
b) Geschlossene Hafenbecken, Dockbecken oder Docks 331
c) Halbtidebecken 339
d) Anordnung der Hafenbecken für verschiedene Zwecke 341
II. Gestalt der Hafenbecken.
Dreieck, Rhombus, Quadrat, Rechteck, zusammengesetze Formen . . . 342
III. Abmessungen der Hafenbecken.
Länge, Breite, Wendeplätze, Tiefe, Größe der Hafenbecken, Breite der Hafenzungen 346

Kapitel I.

Einleitung, Zusammenhang von Seeschiffahrt und Hafenbau, Beispiele für Schiffsabmessungen.

Was ist ein Hafen? — Geschichtliches. — Neuzeitliche Entwicklung der Seeschiffahrt und des Hafenbaues. — Abmessungen der größten deutschen Handelsdampfer. — Überblick über die neuesten Hafenbauarbeiten. — Zusammenstellungen der Hauptabmessungen: einiger Haupt-Kriegsschifformen verschiedener Länder, — einiger Handelsdampfer von 12 000, 10 000, 9000 usw. bis 1000 und 500 Brutto-Registertonnen, — einiger Hauptsegelschifformen, — von Fischereifahrzeugen.

Was ist ein Hafen? Für die Ermittlung der Aufgaben des Hafenbaues sind in erster Linie die Erfordernisse der Seeschiffahrt maßgebend. Hafenbau und Seeschiffbau stehen im engsten Zusammenhang.

Am offenen Meere bietet sich für Seeschiffe nur in den seltensten Fällen Gelegenheit, unmittelbar am Ufer anzulegen, da sie bei aufkommenden Stürmen Gefahr laufen, auf den Strand getrieben oder gegen die Felsen geworfen zu werden. Auch die an einigen Stellen errichteten, in vieler Beziehung sehr nützlichen Landungsstege gewähren keine größere Sicherheit, da die an ihnen liegenden Schiffe ständig Dampf halten müssen, um bei eintretenden Stürmen sofort die offene See aufsuchen zu können.

Zur Befriedigung des Schutzbedürfnisses in der Ruhelage befindlicher Schiffe sind mehr oder weniger umschlossene Wasserflächen erforderlich, die in ihrer Gesamtheit einschließlich der sie umgebenden Landflächen als Häfen bezeichnet werden.

Ein Hafen ist daher ein mit dem Meere in Verbindung stehender, teilweise oder ganz umschlossener Raum, der den Schiffen vor Antritt oder nach Beendigung einer Seereise Schutz zum Liegen und Gelegenheit zum Einnehmen oder Ausladen von Gütern gewährt. Mit der Entwicklung der Seeschiffahrt durch Vergrößerung der Schiffe, Vermehrung ihrer Geschwindigkeit, Vervollkommnung ihrer Einrichtungen und dem Anwachsen der in den Schiffen und Ladungen steckenden Werte steigern sich die Anforderungen an einen Hafen in bezug auf Ruhe und Sicherheit und auf schnelle und billige Abfertigung.

Alle von einem Hafen zu erfüllenden Bedingungen sind in erster Linie aus den Bedürfnissen der Seeschiffahrt abzuleiten, und es ist Aufgabe jedes Hafenbauingenieurs, sie bei dem Herantreten an Hafenbauaufgaben zu ermitteln und zur Grundlage seiner Entwürfe zu machen.

Als Endplätze der großen Welthandelsstraßen haben die Seehäfen aber auch den Zweck, die Vermittlung im Waren- und Personenverkehr der Völker

zu übernehmen; sie bilden das Werkzeug, mit dessen Hilfe die aus allen Himmelsrichtungen aus dem Lande heranströmenden Güter den Seeschiffen übergeben oder von diesen der Landbeförderung zugeführt werden.

Zur Erfüllung dieser Aufgabe müssen die Häfen Einrichtungen besitzen, mit denen der Übergang der Güter und Personen von den Landverkehrswegen auf die Seeschiffe und umgekehrt schnell und billig bewirkt werden kann.

Nicht selten sind nach längeren Seereisen an den Schiffen Schäden entstanden, deren Beseitigung in kürzester Frist vor Antritt der neuen Reise nötig ist; in einem Hafen dürfen daher Einrichtungen zur Ausbesserung beschädigter Schiffe nicht fehlen. Häufig sind diese Anlagen mit Schiffbauanstalten verbunden. Eine besonders wichtige Rolle spielen diese Einrichtungen bei Kriegshäfen, wo sie meist einen wesentlichen Bestandteil der ganzen Anlage darstellen.

Geschichtliches. Soweit wir in der Geschichte der Völker zurückblicken können, sehen wir, daß Blühen und Gedeihen eines Staates, Macht und Reichtum eines Volkes mit der Entwicklung seiner Seemacht zusammenhängen. Bis in die Neuzeit hinein läßt sich verfolgen, daß mit dem Zurückgehen oder dem Verlust der Seemacht Bedeutungslosigkeit und Zurücktreten vom Weltschauplatze als notwendige Folge zusammenhängt.

So sehen wir schon bei den ältesten seefahrenden Völkern, den Ägyptern, Phöniziern, Griechen, Karthagern und Römern, den Gipfelpunkt ihrer Macht, ihre Hauptbedeutung und die größte Ausdehnung ihrer Reiche zusammenfallen mit dem Besitz einer großen und starken Flotte. Ebenso und in noch viel stärkerem Maße zeigt sich dieselbe Erscheinung in neuerer Zeit. Mit dem Erkennen des Satzes: «Unsere Zukunft liegt auf dem Wasser!» und dem Besitz einer starken Kriegs- und leistungsfähigen Handelsflotte beginnt des jungen Deutschen Reiches Macht und Ansehen zu steigen. Dieselbe Erkenntnis leitet Frankreich, die Vereinigten Staaten Amerikas, Japan und ist das altbekannte Geheimnis Englands, der größten Seemacht der Welt.

In gleichem Schritt mit der Entwicklung der Flotte geht diejenige des Hafenbaues. Schon die seefahrenden Nationen des Altertums haben die Kunst, natürliche Häfen zu verbessern und künstliche anzulegen, nach den Angaben alter Schriftsteller und den Zeugnissen vorhandener Ruinen verstanden.

Das Bedürfnis nach Sicherheit der im Hafen liegenden Schiffe führte schon vor 2000 bis 3000 Jahren zur Verbesserung des natürlichen Schutzes vorhandener Buchten durch mächtige, aus rohen Steinen aufgeschüttete Dämme und zur Herstellung steiler Ufern durch Mauern aus behauenen, trocken versetzten Quadern.

Bei dem geringen, nur 1,5 bis 2 m betragenden Tiefgang der Schiffe des Altertums war das Bedürfnis nach Schutz vor Sturm und Seegang besonders groß, dagegen kam es weniger auf große Wassertiefen in den Hafenbecken an.

Durch Verlängerung vorhandener Ufer, durch vom Lande ausgehende Molen oder Errichtung frei im Wasser liegender Wellenbrecher wurden Wasserflächen umschlossen, die eine Reede oder einen Außen- oder Vorhafen bildeten, von dem oft ein Verbindungskanal zu einem Binnenhafen führte. Je nach Anordnung der Molen und Wellenbrecher entstanden eine oder mehrere

Einfahrten, die bei verschiedenen Windrichtungen den Schiffen das Ein- und Auslaufen gestatteten.

Nach Vitruv[1]) waren die Dämme unter Wasser aus Schüttsteinen und darüber aus behauenen Blöcken hergestellt. Derselbe Schriftsteller erwähnt auch die Herstellung einer Art Beton, indem Mauern an der See durch Einstampfen eines Gemisches von Steinbrocken, Kalk und Puzzolan zwischen Holzwänden gebildet wurden, die man nach genügender Erhärtung ihres Inhalts wieder entfernte. Ebenso findet die Anfertigung künstlicher, großer Mauerblöcke auf dem Lande und ihre Verstürzung in die See zur Bildung oder zum Schutz großer Steindämme bereits Erwähnung, wie auch die Herstellung durchbrochener Molen, bestehend aus Pfeilern und sie verbindenden Gewölben. Desgleichen beschreibt Plinius der Jüngere das Verstürzen von großen, auf Fahrzeugen herangebrachten Blöcken zum Schutze eines Hafendammes.

Von allen diesen Bauten, die von einer hohen Stufe der Hafenbaukunst im Altertum Zeugnis ablegen, ist wenig bis auf unsere Zeit gekommen, die Veränderung der Meeresküsten durch Abbruch und besonders durch vorschreitende Versandung sowie die ständigen Angriffe der Meereswogen haben von vielen jede Spur verwischt, bei anderen alles bis auf wenige Reste zerstört.

Zu den bedeutendsten Häfen jener Zeit gehörten Tyrus, Sidon und Tripolis an der phönizischen Küste, Karthago und Alexandria an der Nordküste Afrikas, der aus drei natürlichen Buchten bestehende Hafen von Athen an der Westküste Griechenlands und an der italienischen Küste das vor den Toren Roms an der Tibermündung belegene Ostia, einer der vollkommensten Häfen des Altertums, der heute infolge des Vorrückens der Küste über 4 km weit binnenwärts liegt, nördlich davon der Hafen von Centum-Cellae, das heutige Civita-Vecchia, und im Golf von Neapel das geschütztliegende Puzzuoli, sowie Nisida und Misene, bei denen bereits durchbrochene Molen zur Anwendung gelangt sein sollen.

Mit dem Verfall der Herrlichkeit des römischen Reiches und dem Eintritt der Völkerwanderung verschwanden die Flotten und verkamen die Häfen.

Erst gegen Ende des Mittelalters entstanden als neue Seemächte Genua und Venedig und verbesserten ihre durch die Natur begünstigten Häfen. Auch in Deutschland, England, Frankreich, Holland, Spanien und Portugal begann um diese Zeit eine neue Entwicklung der Seeschiffahrt und damit auch das Interesse an der Verbesserung der Häfen.

In Deutschland war es besonders die 1241 gegründete Hansa, ursprünglich eine Handelsgenossenschaft zwischen Hamburg und Lübeck, die auf Jahrhunderte hinaus eine mächtige Seeherrschaftstellung einnahm und bald alle deutschen Häfen, wie Bremen, Stettin, Kiel, Stralsund, Königsberg Danzig und selbst Köln mit sich zu einer Genossenschaft vereinigte, der sich viele Häfen an der Ost- und Nordsee, dem Atlantischen Ozean und dem Mittelmeer anschlossen, wie Riga, Reval, Bergen, London, Dortrecht,

[1]) Vergl. Voisin-Bey, Die Seehäfen Frankreichs, Deutsch von G. Franzius, Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig 1886. S. 57 u. f.

Amsterdam, Antwerpen, Rotterdam, Ostende, Dünkirchen, Abbeville, Rouen, Bordeaux, Lissabon, Barcelona, Marseille, Neapel usw. Der gewaltige Bund, ohne Schutz des Reiches auf eigene Tüchtigkeit angewiesen, beherrschte bald den ganzen Handel von Europa. Da die deutschen und die meisten der ausländischen Hansastädte an den Mündungen großer Ströme oder in natürlichen, für Hafenzwecke besonders geeigneten Buchten lagen, die für die Schiffe der damaligen Zeit ausreichende Wassertiefe besaßen, so beschränkten sich die Hafenbauarbeiten jener Zeit auf die Herstellung von Bohlwerken und Ufermauern sowie von kleineren hölzernen Laufbrücken zur Erleichterung des Löschens und Ladens; nebenher gingen Bauten zur Verteidigung der Stadt und des Hafens gegen die häufigen Angriffe räuberischer Feinde.

Aber auch die Bedeutung der Hansa erreichte ihren Höhepunkt, ihr Ansehen wurde geringer und verlor mit dem 17. Jahrhundert mehr und mehr an Bedeutung; hierbei wirkten in erster Linie die großen Entdeckungen der Spanier und Portugiesen, die Auffindung Amerikas und des Seeweges nach Ostindien mit und dann auch der dem Handel allmählich mehr und mehr zuteil werdende Schutz durch den allgemeinen Landfrieden.

Begünstigt wurden diese kühnen Taten durch die dem italienischen Lotsen Flavio Gioja zugeschriebene Erfindung des Kompasses für Europa im Jahre 1302, wodurch die Schiffe von den Küsten losgelöst und befähigt wurden, mit größerer Sicherheit ihren Weg im Meere zu verfolgen und ihre Fahrten in neue unbekannte Gebiete auszudehnen.

Neuzeitliche Entwicklung der Seeschiffahrt und des Hafenbaues. Durch diese Ereignisse wurde die Bedeutung des Welthandels von den Binnenmeeren, der Ost- und Nordsee sowie dem Mittelländischen Meere nach dem Atlantischen Ozean und in neue Bahnen von ungeahnter Ausdehnung gelenkt. Nur die Häfen, die bei Zeiten die Änderung der Dinge begriffen, neue Handelsbeziehungen mit den fernen, überseeischen Ländern anknüpften und pflegten, entwickelten sich nach kurzem Stillstande weiter und gelangten zu der Blüte, die ihnen heute Macht und Ansehen verleiht.

Gleichzeitig wuchsen aber auch die Größen der Schiffe immer mehr; die vorhandenen Wassertiefen der Strommündungen und Häfen, vielfach noch verringert durch Sandbewegungen an den Küsten und die Sinkstoffablagerungen der Flüsse, reichten nicht mehr aus und stellten den Hafenbauingenieur vor neue große Aufgaben in der Anpassung der Wassertiefen der Einfahrten und Hafenbecken an die wachsenden Schiffskörper und in der Ausrüstung der Häfen mit allen Einrichtungen zur schnellen und billigen Abfertigung der Ladungen.

Mit dem zunehmenden Wetteifer der Völker auf dem Welthandelsmarkte steigerten sich bisweilen die Schiffsabmessungen so schnell, daß sie den vorhandenen Hafenanlagen vorauseilten und daß es bedeutender Anstrengungen und großer Mittel bedurfte, um den Hafenbedürfnissen der neuesten Schiffe zu entsprechen.

Daher finden wir zur Zeit eine emsige Tätigkeit bei den Hafenbauverwaltungen in den verschiedensten Ländern, um die Hafenanlagen für die Aufnahme und Bedienung der neuesten Ozeanriesen auszugestalten

Für die großen Hafenplätze genügt es aber nicht, mit ihren Einrichtungen den zeitigen Bedürfnissen der Seeschiffahrt zu folgen; bei der Verbesserung vorhandener und Errichtung neuer Anlagen muß vielmehr in Anbetracht der hohen Kosten der Gesichtspunkt leitend sein, sie so auszubilden, daß sie auf lange Zeit hinaus den Anforderungen genügen und hinreichend erweiterungsfähig sind.

Es ist schwierig, mit einiger Sicherheit anzugeben, wie weit die Vergrößerung der Schiffsabmessungen in Zukunft noch gehen wird, wenngleich es zweifellos ist, daß auch hier menschlichem Können eine Grenze gezogen ist, und zwar sowohl aus technischen als auch aus wirtschaftlichen Gründen. Auch wird schließlich die Herstellung und Unterhaltung genügend tiefer Hafenzufahrten, deren Offenhaltung umso schwieriger wird, je tiefer die Rinnen in den natürlichen Boden einschneiden, durch die dabei erwachsenden unverhältnismäßig hohen Kosten dem weiteren Wachsen der Schiffe eine Grenze ziehen.

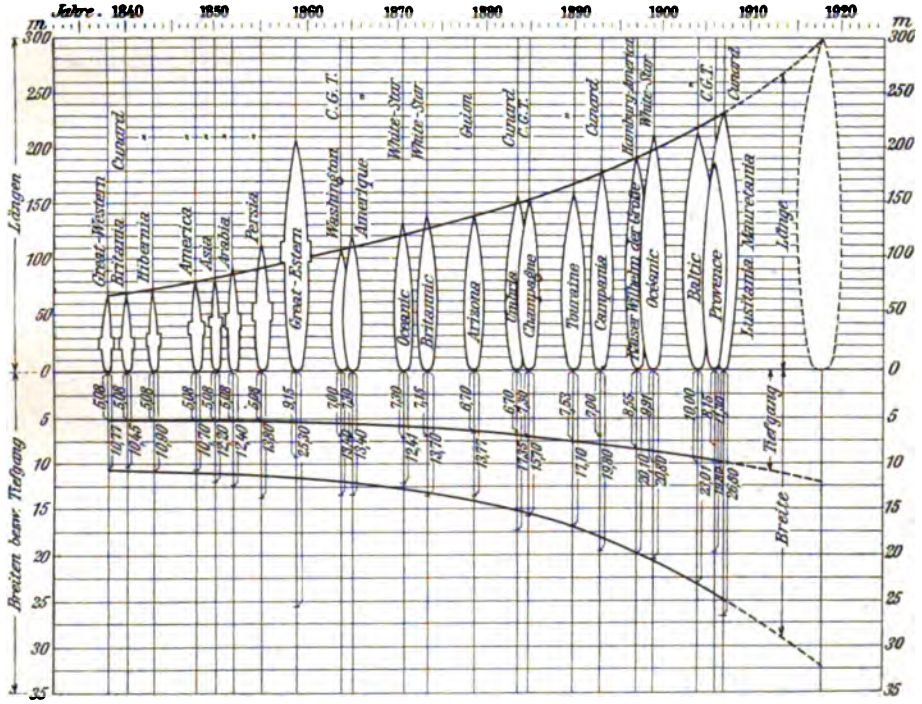


Abb. 1. Darstellung des Anwachsens der Schiffsgrößen nach Länge, Breite und Tiefgang.

In anschaulicher Weise gibt nachstehende zeichnerische Darstellung der größten Schiffe ihrer Zeit seit dem Entstehen der überseeischen Dampferlinien eine Vorstellung von dem Anwachsen der Schiffsabmessungen in bezug auf Länge, Breite und Tiefgang, indem als Abszissen Jahre nach rechts, als Ordinaten nach oben die Längen und nach unten die Breiten und Tiefgänge aufgetragen wurden (Abb. 1)[1]).

[1]) Vergl. Georges Hersent, Mise au Point de Notre Outillage Maritime, Ports et Canaux, Paris, S. 9, ebendaher Abb. 1. vervollständigt durch Einzeichnung der Breiten und Tiefgänge.

Durch Verlängerung der eingezeichneten Kurven über die Abmessungen der zur Zeit größten Schiffe, der englischen Cunarddampfer Lusitania und Mauretania, hinaus, erscheint die Folgerung gerechtfertigt, daß vielleicht bis zum Jahre 1920 bereits 300 m lange, 30 bis 35 m breite Schiffe bis zu 10 m Tiefgang und darüber gebaut sein werden, eine Vermutung, die von namhaften Fachleuten, wie W. H. White in England und Elmer L. Corthell[1]) in Nordamerika, bezüglich der Länge und Breite geteilt wird. Tatsächlich schwimmen heute bereits etwa 30 Schiffe mit mehr als 9,14 m Tiefgang, während 50 andere nahe an diesen Wert herankommen[2]).

Abmessungen der größten deutschen Handelsdampfer. Von den größten deutschen Handelsdampfern haben nachstehende sieben folgende Abmessungen, aus denen hervorgeht, daß auch für die deutschen Haupthäfen Tiefgänge von 10,1 m schon in Betracht kommen.

Zusammenstellung der größten deutschen Handelsdampfer.

Name	Länge m	Breite m	Tiefgang m	Brutto-Raumgehalt Reg.-T.	Geschwindigkeit Seemeilen	Reederei
George Washington . .	220,2	23,78	10,06	25 570	18,5	Norddeutscher Lloyd
Kaiser Wilhelm II. . . .	215,3	21,94	8,53	19 500	23,5	„ „
Kronprinzessin Cecilie . .						
Kaiserin Auguste Viktoria	213,0	23,50	10,06	24 580	18,0	Hamb.-Amerika-Linie
Deutschland	208,5	20,40	8,50	16 500	23,5	„ „ „
Amerika	203,9	22,55	10,00	22 620	18,0	„ „ „
Berlin	186,6	21,20	9,65	17 320	18,3	Norddeutscher Lloyd

Von den durch die Schiffsabmessungen an die Häfen gestellten Anforderungen bereitet die Herstellung der nötigen Wassertiefe in den Einfahrten und Hafenbecken weitaus die meisten Schwierigkeiten und Kosten, und es ist ferner nur wenigen, durch natürliche Verhältnisse besonders begünstigten Häfen beschieden, durch technische Maßnahmen den vergrößerten Schiffstiefgängen zu entsprechen.

Überblick über die neuesten Hafenbauarbeiten. Einen Überblick über die in dieser Hinsicht für erforderlich gehaltenen Maße gestatten die in einigen der wichtigsten Häfen in Ausführung begriffenen oder jüngst vollendeten Arbeiten.

In Deutschland erstrebt Hamburg in der Elbe die Herstellung einer Tiefe von 10 m unter Mittelniedrigwasser, d. h. etwa 12 m unter Mittelhochwasser. Bei der Erweiterung des Kaiser-Wilhelm-Kanals erhält das Kanalbett eine Tiefe von 11 m unter Kanalmittelwasser bei einer Sohlenbreite von 44 m, während die auf ferne Zukunft bemessenen Doppelschleusen an den Kanalenden 330 m nutzbare Länge zwischen den Toren, eine lichte Weite von 45 m und eine Drempeltiefe von 13,8 m unter Kanalmittelwasser erhalten.

[1]) Elmer L. Corthell, Die Häfen der Welt, Bericht zum VIII. internationalen Schiffahrtskongreß, Paris 1900, Frage 8.

[2]) Schiffbau 1908, S. 771 und 772.

In Emden erhält die im Bau begriffene Seekammerschleuse 250 m Länge, 25 m Breite und eine Drempeltiefe von 12 m, während für die neuen Hafenbecken 10,5 m Wassertiefe vorgesehen sind.

Die soeben in Benutzung genommene dritte Hafeneinfahrt in Wilhelmshaven besitzt Doppelschleusen von 260 m Länge zwischen den Toren, 40 m Weite und rund 10 m Drempeltiefe unter gewöhnlichem Niedrigwasser.

Auch im Suez-Kanal hat man angefangen, die Tiefe auf zunächst 10,5 m zu bringen.

In Italien erhält die neue Erweiterung des Hafens von Genua, das Viktor-Emanuel-Becken, 12 m Wassertiefe.

Antwerpen plant für seinen Hafen eine Seeschleuse von 300 m Länge, 33 m Weite und 11 m Tiefe; Rotterdam sorgt für eine Wassertiefe von 10 m unter Mittelhochwasser; Ymuiden erhält durch Baggerungen eine Einfahrtstiefe von 10,5 m und Zeebrügge besitzt bereits Kais mit 10,50 m Tiefe unter Niedrigwasser.

In England weist die große künstliche Reede von Dover 12 m Wassertiefe auf, während Southampton die Tiefe seiner Einfahrt zu einem neuen Becken auf 12,2 m bringt sowie Liegeplätze mit 12,2 m Tiefe unter Niedrigwasser herstellt, ferner Liverpool am Mersey, der Ausgangshafen der großen Cunardschiffe und eines Teiles der White Star-Dampfer, in der äußeren Zufahrtrinne 12,70 m Tiefe unter Mittelwasser erstrebt. Außerdem befinden sich in England bereits sieben große Trockendocks von über 250 m Länge; Liverpool hat ein solches von 282 m und Newport am Bristol-Kanal plant ein Trockendock von 305 m Länge, 42 m Breite in der Einfahrt und 13,4 m Tiefe unter Niedrigwasser.

In Amerika ist man an der Arbeit, der neuen Zufahrt zum Hafen von Neuyork, dem 7 Seemeilen langen und 610 m breiten Ambrose Channel, der 1907 bereits 10,7 m Tiefe aufwies, 12,2 m Tiefe unter Niedrigwasser zu geben. Für den Panama-Kanal ist eine Tiefe von 12,2 m vorgesehen mit 38 m weiten Schleusen.

Alle diese Angaben zeigen, wie man in den Häfen von Weltbedeutung auf Schiffsgrößen rechnet, deren Abmessungen sich den aus den Kurven in Abb. 1 abgeleiteten nähern, d. h.

300 und mehr m Länge
30 bis 35 m Breite und
10 und mehr m Tiefgang

besitzen werden.

Tatsächlich sind in England bereits zwei Dampfer von 260 m Länge für die White Star-Linie im Bau, deren Ladetiefgang schon 11 m überschreiten wird.

Aber nicht allein die Handelsmarinen stellen an die modernen Häfen hohe Anforderungen, sondern auch die Schiffe der Kriegsmarinen erhalten in neuerer Zeit wesentlich größere Abmessungen als bisher, wenn sie auch hinter den Handelsschiffen zurückbleiben, wie nachstehend zusammengestellte Beispiele einiger Hauptschiffsarten zeigen.

Zusammenstellung der Abmessungen einiger Haupt-Kriegsschiffsformen verschiedener Länder.[1])

Land	Name	Länge m	Breite m	Tiefgang m	Wasserverdrängung in t = 1000 kg
		Linienschiffe.			
Deutschland	Schlesien	121,5	22,2	7,7	13 200
	Nassau	137,7	27,1	8,1	18 500
England	Vanguard	152,4	25,6	8,2	19 600
	Neptune	155,4	26,2	8,5	20 600
Frankreich	Vergniaud	145,0	25,7	8,4	18 300
Japan	Aki	149,9	25,5	8,4	20 100
	Kawachi	146,4	25,9	8,5	20 800
Vereinigte Staaten von Nordamerika	Florida	155,4	26,9	8,7	23 400
	Arkansas	164,1	28,0	8,8	26 400
		Panzerkreuzer.			
Deutschland	Scharnhorst	137,0	21,6	7,5	11 600
	Blücher	152,0	24,5	8,0	15 500
England	Indomitable	161,5	23,9	7,9	17 500
	Indefatigable	169,2	24,4	8,0	19 300
Frankreich	Waldeck-Rousseau	157,0	21,5	8,2	14 000
Japan	A	164,7	24,5	8,1	18 650 geplant
Vereinigte Staaten von Nordamerika	Montana	153,0	22,2	7,6	14 700
		Kleine Kreuzer.			
Deutschland	Mainz	122,5	14,0	5,0	4 350
England	Bristol	131,0	14,3	4,6	4 900
		Torpedoboote.			
Deutschland	S 138—149	68,0	7,0	2,2	525
Neuere Boote in verschiedenen Ländern	Hochseeboote	85,0	9,0	3,2	bis 1000
	Torpedojäger	120,0	13,0	3,9	bis 2000

Die vorstehende Zusammenstellung zeigt, daß auch bei den Kriegsschiffen sich die Abmessungen in schnell steigender Entwicklung befinden; Schiffe bis zu 25 000 t und mehr Wasserverdrängung werden bereits ausgeführt bezw. geplant.

Es liegt auf der Hand, daß die Abmessungen der größten Schiffe nur für wenige bedeutende Häfen in Betracht kommen, die sowohl durch geographische Lage als auch politische Bedeutung besonders begünstigt sind. Viele andere Häfen von mehr oder weniger örtlicher Bedeutung, bisweilen auch einzelne Teile großer Häfen, sind nur für kleinere Fahrzeuge einzurichten. Einen Anhalt für die dann in Frage kommenden Abmessungen gibt nach-

[1]) Nauticus 1908 u. 1909, S. 486 u. f.

stehende Zusammenstellung, in der einige Beispiele von Handelsdampfern, abgestuft um rund 1000 Registertonnen, aufgeführt sind.

Zusammenstellung der Abmessungen einiger Handelsdampfer von rund 12 000 bis 500 Registertonnen Brutto-Raumgehalt.[1])

Name	Länge m	Breite m	Tiefgang m	Brutto-Raumgehalt Reg.-t	Reederei
Moltke	160,2	19,0	9,3	12 335	Hamburg-Amerika-Linie
Main	152,7	17,7	8,6	10 058	Norddeutscher Lloyd
Prinz Eitel-Friedrich	148,8	17,0	8,5	8 865	Norddeutscher Lloyd
Gneisenau	138,3	17,0	8,5	8 061	Norddeutscher Lloyd
Borussia	128,4	16,5	7,9	6 951	Hamburg-Amerika-Linie
Cap Verde	125,1	14,7	7,7	5 909	Hamburg-Süd-Amerikanische Dampfschiffahrts-Gesellschaft
Santa Cruz	119,5	15,3	7,8	4 924	Hamburg-Süd-Amerikanische Dampfschiffahrts-Gesellschaft
Antonina	110,1	13,7	6,7	4 010	Hamburg-Amerika-Linie
Amerika	95,6	12,5	7,0	3 022	Argo Bremen
Secunda	82,0	12,0	5,3	2 026	Flensburg. Dampfschiff.-Gesellsch.
Atlas	61,1	9,2	3,9	969	„Neptun" Bremen
Castor	49,7	7,4	3,4	519	„Neptun" Bremen

Für viele Häfen, die von Segelschiffen aufgesucht werden, bietet nachstehendes Verzeichnis die Unterlagen zur Beurteilung der bei den Hauptformen dieser Fahrzeuge vorkommenden Abmessungen.

Zusammenstellung der Abmessungen einiger Haupt-Segelschiffsformen.[2])

Bezeichnung (bezw. Name)	Länge m	Breite m	Tiefgang mit Kiel m
Siebenmast-Gaffelschoner	112,0	15,2	8,6
Fünfmast-Vollschiff („Preußen")	120,0	16,4	7,9
Fünfmast-Bark („Potosi")	109,4	14,8	7,0
Viermast-Vollschiff	95,0	13,9	7,0
Viermast-Bark	85,0	13,0	6,7
Dreimast-Vollschiff oder Bark	80,0	12,2	6,3
Schonerbark	40,6	8,3	3,4
Brigg	36,8	7,5	3,5
Dreimastschoner	33,3	7,4	3,1
Schoner	27,0	6,6	3,0
Galiot oder Galeas	22,0	6,0	2,8
Kufftjalk ebenso Tjalk	23,9	5,0	2,0

Von den für die Bemessung von Fischereihäfen in Betracht kommenden sehr verschiedenartigen Fahrzeugen sind folgende Abmessungen der größeren und häufiger vorkommenden Schiffe hervorzuheben.

[1]) Germanischer Lloyd, Internationales Register 1906.

[2]) F. L. Middendorf, Bemastung und Betakelung der Schiffe.

Zusammenstellung der Abmessungen von Fischereifahrzeugen.

Bezeichnung	Länge m	Breite m	Tiefgang m	Bemerkungen
Fischdampfer	32 bis 42	7,0	2,5 bis 3,5	
Fischbeförderungsdampfer (engl.)	41,2	6,4	3,35 [1]	
Logger	22 bis 30	6,0 bis 7,0	2,3 bis 3,35	
Smak (englisch)	22,0	6,25	3,2	
Kutter	11 bis 20	4,05 bis 6,25	2,25 bis 2,65	
Ewer	15 bis 22	4,0 bis 5,3	1,7	
Bomschuiten (holländisch) . . .	17,0	6,8	1,8	
Dänische Hochseekutter	21,0	6,0	2,2	
Neuer deutscher Ostseekutter . .	15,5	4,5	2,0	mit Petroleum-motor
Kleiner deutscher Ostseekutter .	7,2	2,5	0,7	
Offenes Ostseeboot	8,77	2,84	1,0	
Offenes Fischerboot	6,0	2,0	0,5	Hinterpommern und Ostpreußen

— — - —

Kapitel II.

Arten und allgemeine Erfordernisse der Häfen.

Arten der Häfen. — Kriegs-, Handels-, Zufluchts- und Fischereihäfen. — Küsten-, Mündungs-, Strom- und Inselhäfen. — Natürliche und künstliche Häfen. — Offene, geschlossene und Tidehäfen.

Allgemeine Erfordernisse eines Hafens. — Reede. — Wassertiefe. — Ankergrund. — Fläche. — Erweiterungen. — Stromreeden. — Kais und Molen in Reeden, Anlaufhäfen. — Hafenbecken, offene und geschlossene, Dockhäfen. — Vorhäfen. — Schiffsbau- und Ausbesserungsanstalten. — Verbindungswege.

Arten der Häfen. Man kann die verschiedenen Arten der Häfen nach folgenden Gesichtspunkten einteilen:

A. Nach der Zweckbestimmung in

a) Kriegshäfen, ausschließlich für Zwecke der Kriegsmarine bestimmt,

b) Handelshäfen, in erster Linie der Handelsflotte dienend, mitunter auch von Kriegsfahrzeugen in einem abgesonderten Teile mitbenutzt,

c) Zufluchthäfen, von Schiffen jeder Gattung oder bestimmten Schiffsarten bei schweren Stürmen oder bei eingetretenen Beschädigungen aufgesucht, und

d) Fischereihäfen, die allein oder zum größten Teil von Fischereifahrzeugen benutzt werden.

[1]) Zur Beförderung der von den Heringsloggern gemachten Fänge an Land, während die Fangschiffe eine Woche über in See bleiben; besonders in England üblich, da dort die Heringe bei der Nähe der Fanggründe meistens in frischem Zustande an Land gebracht werden, im Gegensatz zu der in den Niederlanden und Deutschland üblichen Weise, wo die Heringe schon auf dem Meere eingesalzen und in Tonnen, in Holland „Kantjes" genannt, gepackt werden.

Unter den Handelshäfen führen in neuerer Zeit die unmittelbar an der See und am tiefen Wasser belegenen, für das Anlegen der großen Schnelldampfer eingerichteten Häfen den Namen Anlaufhäfen (Ports de vitesse). Einzelne Handelshäfen, in denen vorwiegend Warengattungen einer Art zur Verladung kommen, werden bisweilen nach diesen Gütern als Kohlen-, Erz-, Getreide-, usw. Häfen bezeichnet; abgesonderte Teile von Handelshäfen, die besonderen Zwecken vorbehalten sind, wie z. B. der Abfertigung von Petroleum, werden Petroleumhäfen, oder, wenn sie Liegeplätze enthalten, in denen aus verseuchten Häfen kommende Schiffe bis zur Gesunderklärung getrennt von dem übrigen Verkehr sich aufhalten, Quarantänehäfen genannt.

B. Nach der geographischen Lage kann man unterscheiden:

a) Küstenhäfen, entweder in mehr oder weniger geschlossenen Einbuchtungen der Meeresküste oder an der glatten Küste gelegen. Zu den ersteren gehören z. B. Kiel, Brest, Toulon, St. Jean de Luz, Cherbourg, Genua, Neapel, Alexandria, Piräus, Boston u. a., zu den letzteren z. B. Ymuiden, Zeebrügge, Kingstown, Dover.

b) Mündungshäfen an der Mündung von Flüssen oder Haffen, wie Neufahrwasser an der früheren Weichselmündung, Stolpmünde an der Stolpe, Kolbergermünde an der Persante, Bayonne an der Adour, Sunderland am Wear, Tynemouth am Tyne, Swinemünde an der Ausmündung des Stettiner Haffs, Pillau am Frischen Haff und Memel am Kurischen Haff u. a. m.

c) Stromhäfen, auch Binnenseehäfen genannt, an den Ufern des Unterlaufs großer Ströme. Durch die günstigen natürlichen Verhältnisse haben sich diese Häfen zu den bedeutendsten entwickelt, man findet daher die Mehrzahl der Welthäfen an den unteren Strecken großer Ströme angelegt. Unter ihnen sind zu nennen in Deutschland Hamburg an der Elbe, Bremen an der Weser, Stettin an der Oder, Königsberg am Pregel, Emden an der Ems, Danzig an der Weichsel, Lübeck an der Trave, in England London an der Themse, Liverpool am Mersey, in Holland Rotterdam an der Maas, in den Niederlanden Antwerpen an der Schelde, in Frankreich Bordeaux an der Garonne, in Amerika Neuyork am Hudson usw.

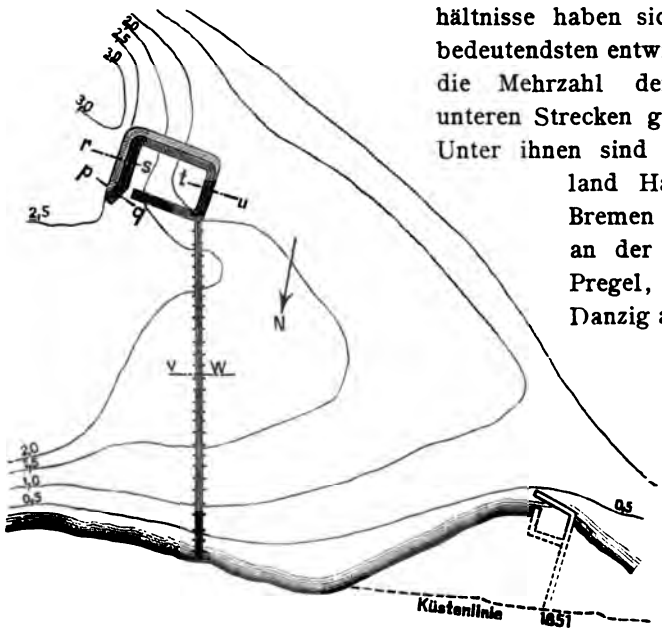


Abb. 2. Hafen von Snogeboeck auf Bornholm.
Beispiel eines Inselhafens.

d) Inselhäfen, mitten im Meere gelegen, durch künstliche Umschließungen gebildet und durch einen Damm oder Brückensteg mit dem Lande verbunden, in selteneren Fällen für Fischereizwecke angelegt, z. B. in Hundested in Dänemark und in Arnager und Snogeboeck auf Bornholm (Abb. 2).

C. Nach der Art der Entstehung.

Bisweilen findet auch eine Unterscheidung in natürliche und künstliche Häfen statt, jedoch ist diese nicht streng durchführbar, da kaum Häfen vorkommen, in denen nicht durch Kunstbauten die von Natur gegebenen Verhältnisse verbessert worden sind. Für die Unterscheidung als maßgebend wird in solchen Fällen der Ursprung der Wasserflächen angesehen und unter einem künstlichen Hafen ein solcher verstanden, in dem die Hafenbecken durch Ausgraben oder Ausbaggern vorhandener Landflächen entstanden sind. So würde z. B. in Hamburg der durch die Wasserfläche der Elbe und ihre Ufer gebildete Hafenteil als natürlicher, dagegen der Teil mit den neueren Becken als künstlicher Hafen anzusehen sein, ebenso wie in Stettin die Wasserflächen und Ufer der Oder einschließlich des Dunzig und der neue Freihafen.

D. Nach den Flutverhältnissen (Größe des Flutwechsels).

Dadurch ferner, daß in Hafenorten mit starkem Flutwechsel (Tidehub) einzelne Hafenbecken zur Erleichterung des Lösch- und Ladegeschäfts durch Schleusen von der allgemeinen Wasserfläche abgetrennt und mit annähernd gleichbleibendem Wasserstand versehen werden, entstehen geschlossene Häfen im Gegensatz zu den offenen, in denen die Schiffe alle Schwankungen des Wasserspiegels mitmachen müssen.

Zu den letzteren gehören in Deutschland alle Ostseehäfen, ferner Hamburg, Kuxhaven und Bremen, zu den geschlossenen Bremerhaven, Geestemünde und der ältere Teil sowie die neuesten, im Bau begriffenen Teile des Emdener Hafens.

Von ausländischen offenen Häfen seien genannt die russischen und finnischen Ostseehäfen, wie Libau, Windau, Riga, Reval, Kronstadt, Petersburg, Helsingfors und Wyborg, in Belgien Zeebrügge und große Teile des älteren Antwerpener Hafens, ferner alle Häfen an den Küsten des Mittelmeers und am Schwarzem Meer, in Amerika Neuyork, Boston, Montevideo, Rio di Janeiro, San Franzisko usw.

Als geschlossene Häfen seien namhaft gemacht London, Liverpool, Cherbourg, Le Havre, Dünkirchen, Boulogne, der neue geplante Hafen in Antwerpen u. a. m.

Da die offenen Häfen oder Hafenteile an Meeren mit Ebbe und Flut dem Flutwechsel (Tidehub) unterworfen sind, außerdem ihre Zugänglichkeit häufig von dem Hochwasserstande und damit im engen Zusammenhang mit den Tiden steht, so erhalten sie häufig die Bezeichnung Tidehäfen.

Allgemeine Erfordernisse eines Hafens. So verschiedenartig die Arten der Häfen sind, so verschieden ist auch ihre Gestaltung im einzelnen. Jeder Ort hat seine besonderen Eigentümlichkeiten sowohl in physikalisch-technischer, als auch in handelspolitischer Beziehung, an jeder Küste ist der Kampf gegen die gewaltigen Naturkräfte des Meeres auf andere Weise zu führen.

Oft erweist sich das an einer Stelle Erprobte und Bewährte an anderen Orten als unzureichend, oft versagen gegenüber den mitunter zusammenwirkenden und ebenso oft widerstreitenden Kräften alle Theorien und Rechnungen. Es besteht daher bei dem Entwurf und der Ausführung eines Hafenbaues der gangbarste Weg zur Erfüllung der gestellten Anforderungen in der sorgfältigsten Prüfung aller in Betracht kommenden Umstände des Ortes und seiner weiteren Umgebung, in dem Studium und dem Vergleich der an anderen Orten gelungenen Ausführungen, getroffenen Anordnungen und gemachten Erfahrungen und in der sinngemäßen Anpassung an die örtlichen Verhältnisse und die gegebene Aufgabe.

Trotzdem lassen sich einzelne Hauptregeln und Bedingungen zusammenfassen, die in größerem oder geringerem Umfange für jeden Hafenort gelten und zu erfüllen sind. Diese lassen sich ableiten aus dem Satze: Ein Hafen ist ein durch das Meer zeitweise oder dauernd erfüllter Raum, in dem Schiffe Ruhe und Sicherheit finden, entlöscht und beladen, sowie ausgebessert und gebaut werden können.

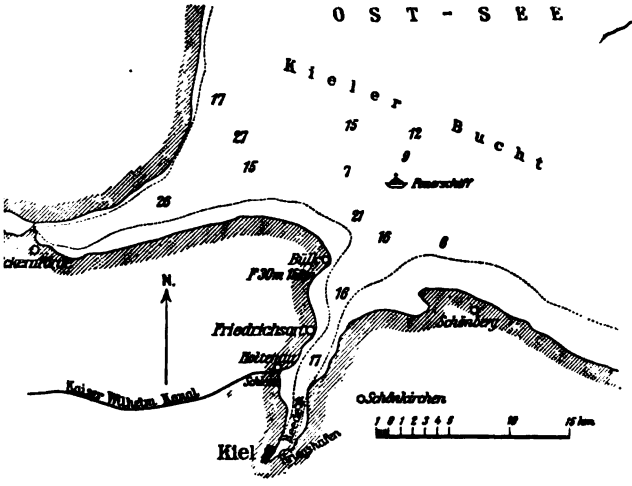


Abb. 3. Hafen von Kiel, deutsches Beispiel einer natürlichen, fast geschlossenen durch die Kieler Bucht gebildeten Reede.

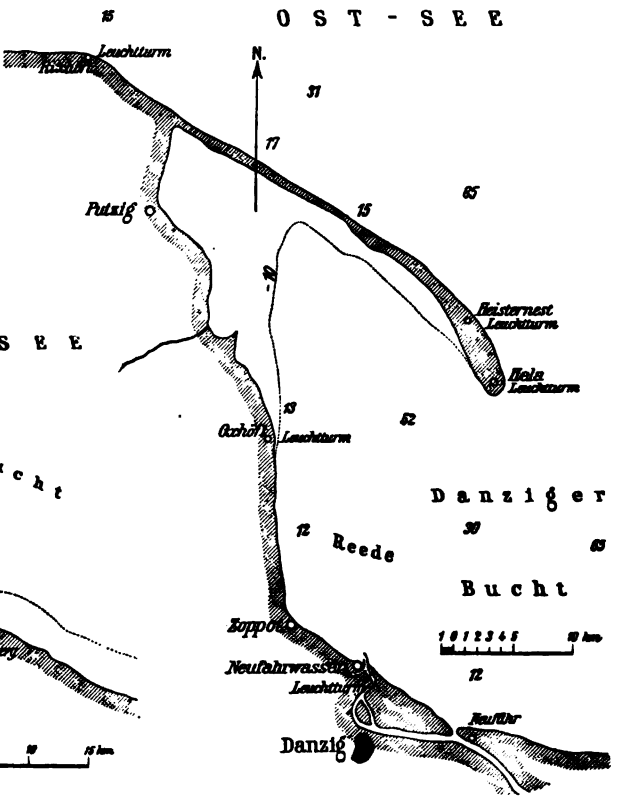


Abb. 4. Lageplan der Danziger Bucht, deutsches Beispiel einer natürlichen, teilweise geschlossenen Reede.

Reede. Zu einem Hafen gehört daher in erster Linie eine gegen Wind und Wellen geschützte, mit dem Meere in Verbindung stehende Wasserfläche. Der erforderliche Schutz kann in natürlicher Weise durch Einbuchtungen der Küste und durch Ufervorsprünge gegeben sein oder durch künstliche Bauten hervorgerufen werden. Eine solche geschützte Wasserfläche wird Reede genannt, sie braucht nicht immer vollständig umschlossen sein, oft genügt eine

teilweise Einschließung nach einzelnen Himmelsrichtungen; auch brauchen die schützenden Ufer nicht immer sichtbar über das Wasser hervorragen, sondern es genügen bisweilen auch aus dem Meeresgrunde sich erhebende Bänke. Nach dem Maße der Umschließung unterscheidet man geschlossene und offene Reeden. Eine gute Reede ist für jeden Hafen von großer Bedeutung und um so wertvoller, je geschützter sie ist. Dies wird am vollkommensten der Fall sein, wenn natürliche Ufervorsprünge heftigen Wellengang und hohe Ufer starke Winde fernhalten. Ein gutes deutsches Beispiel für eine natürliche geschlossene Reede bildet die Kieler Bucht (Abb. 3), an deren Ende der gleichnamige Kriegs- und Handelshafen liegt Auch der in der Danziger Bucht durch die Halbinsel Hela (Abb. 4) gewährte Schutz bildet eine bei den meisten Stürmen genügend geschützte, viel benutzte Reede, die auch als Zuflucht bei schwerem Seegang aufgesucht wird. Auch der Jadebusen (Abb. 5) bildet eine brauchbare Reede für den Kriegshafen Wilhelmshaven.

Vorzügliche geschlossene natürliche Reeden besitzen ferner Queenstown (Abb. 6) an

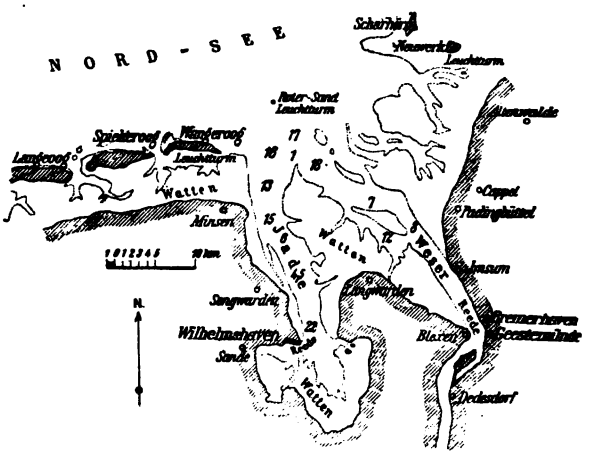


Abb. 5. Lageplan des Jadebusens, Beispiel einer natürlichen, teilweise geschlossenen Reede.

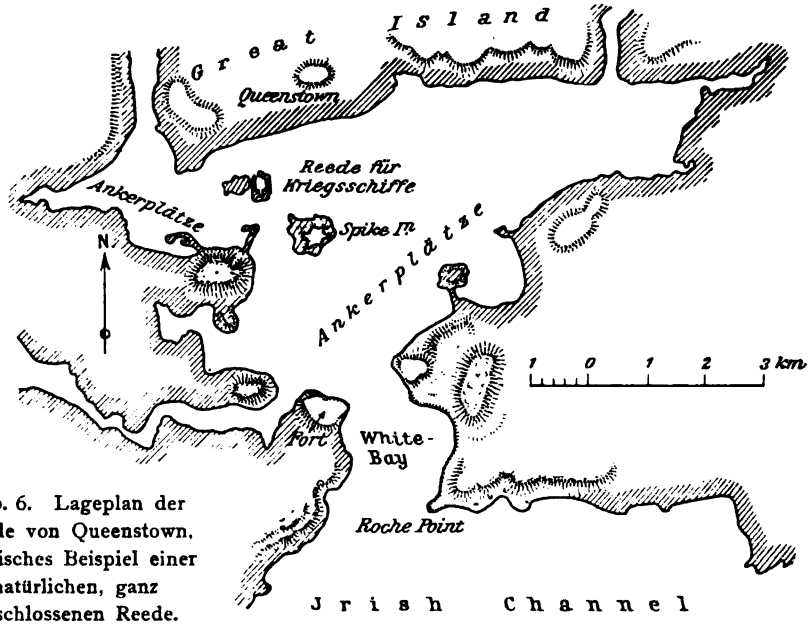


Abb. 6. Lageplan der Reede von Queenstown, englisches Beispiel einer natürlichen, ganz geschlossenen Reede.

der irischen Küste durch eine von Felsen ganz eingeschlossene Bucht, Neuyork durch die Ausbuchtungen an der Mündung des Hudsons (vergl. Abb. 51).

Bei künstlichen Reeden wird der Schutz durch Steindämme geschaffen, die entweder vom Ufer ausgehend als Molen oder ohne Verbindung mit dem

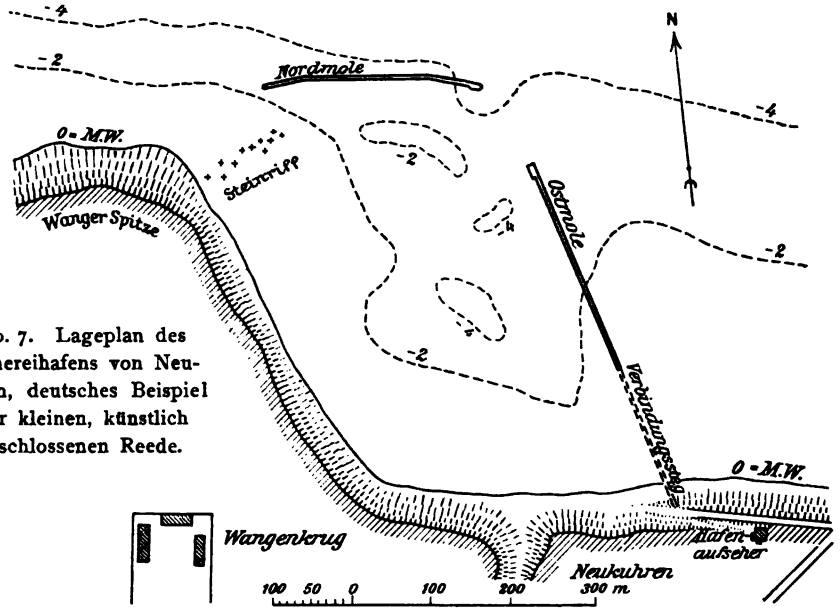


Abb. 7. Lageplan des Fischereihafens von Neukuhren, deutsches Beispiel einer kleinen, künstlich umschlossenen Reede.

Ufer als Wellenbrecher die Reede umschließen; als Beispiele hierfür seien genannt der kleine Fischereizufluchthafen Neukuhren an der ost-

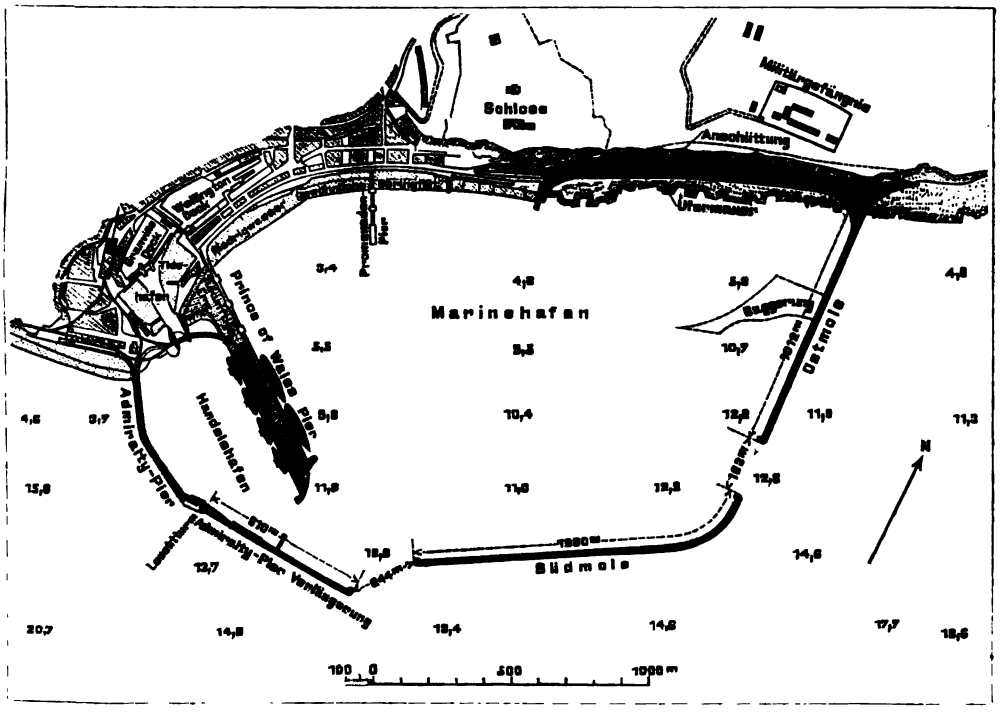


Abb. 8. Hafen von Dover, englisches Beispiel einer künstlichen, ganz umschlossenen Reede.

preußischen Küste (Abb. 7), ferner Dover an der englischen Küste (Abb. 8) und Cherbourg an der französischen Küste (Abb. 9). Während bei dem erstgenannten Beispiel der Schutz durch zwei kleine Wellenbrecher gebildet

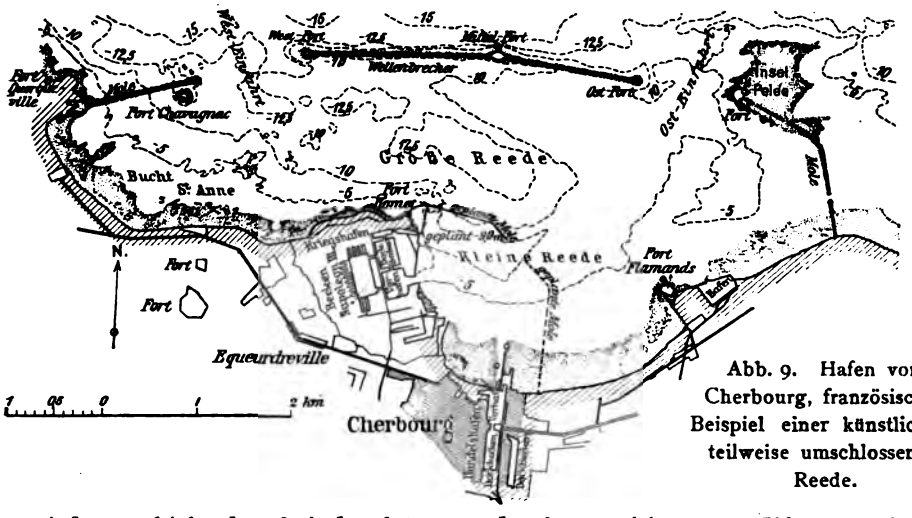


Abb. 9. Hafen von Cherbourg, französisches Beispiel einer künstlichen, teilweise umschlossenen Reede.

wird, geschieht das bei den letzteren durch gewaltige, vom Ufer ausgehende Molen und mächtige Wellenbrecher, die bei Dover 275 ha und bei Cherbourg 800 ha Wasserflächen umschließen. Auch Genua besitzt durch seine Molen eine ausgedehnte künstliche Reede (vergl. Abb 48).

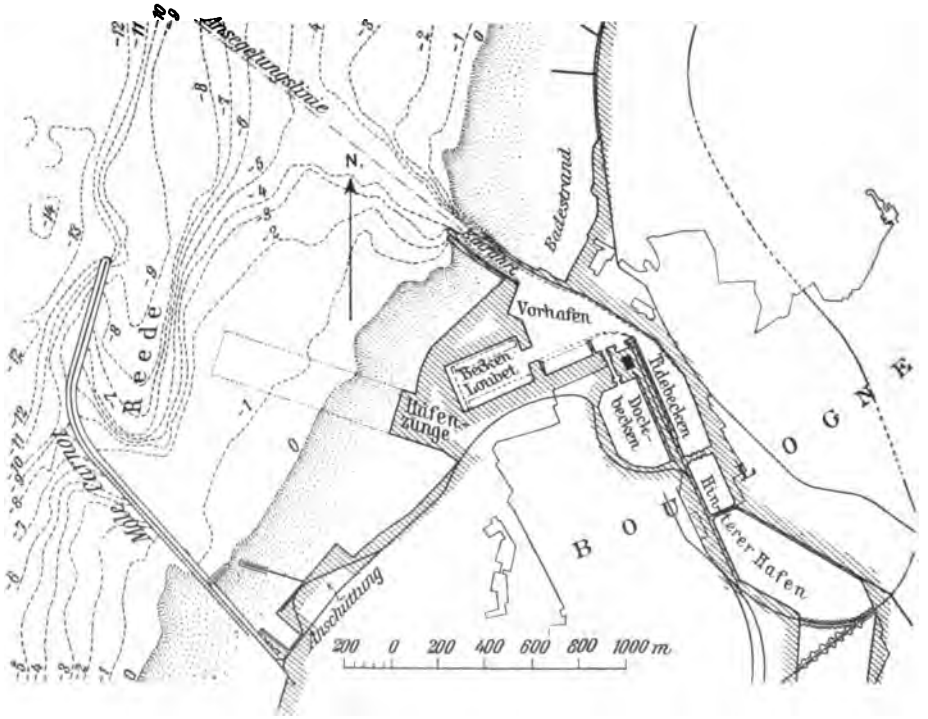


Abb. 10. Lageplan des Hafens von Boulogne, französisches Beispiel einer künstlichen, einseitig geschützten Reede.

Da solche Bauten wie in Dover und Cherbourg sehr hohe Kosten verursachen, hat man in manchen Fällen sich mit einer teilweisen Umschließung begnügt und nur gegen die herrschenden Winde und die Hauptsturmrichtungen Schutz geschaffen, wie z. B. in Boulogne, wo eine Mole gegen Westen und Südwesten gekehrt angelegt ist (Abb. 10).

In Zeebrügge bietet ebenfalls eine gekrümmte, mit dem Ufer durch eine Überbrückung verbundene Mole Schutz gegen Seegang (Abb. 11).

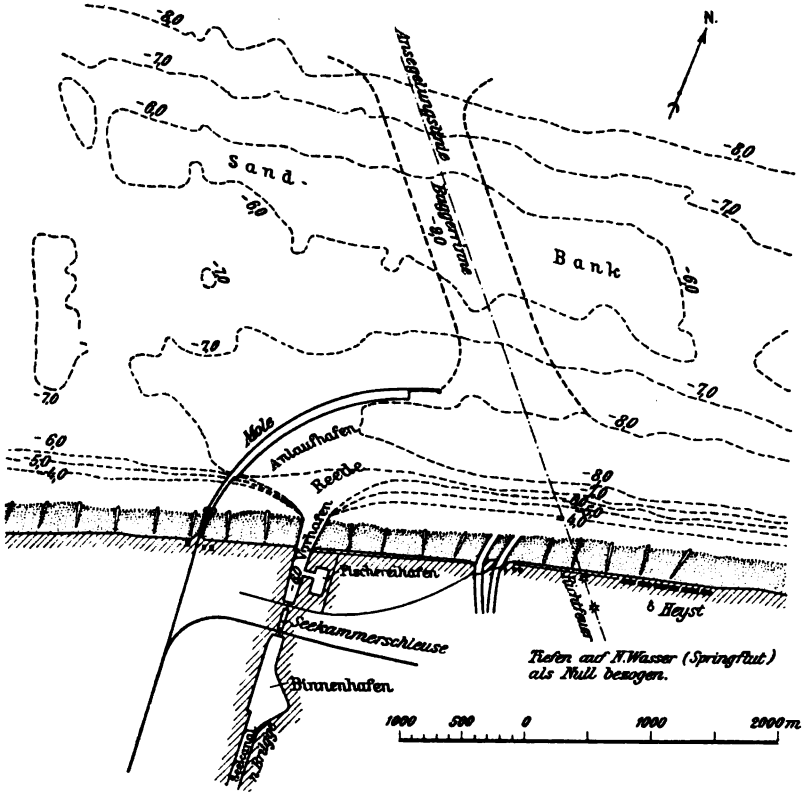


Abb. 11. Lageplan des Hafens von Zeebrügge, belgisches Beispiel einer natürlichen, einseitig geschützten Reede.

Auch in Dover, dem Ausgangspunkt einer der Hauptverbindungslinien Großbritanniens mit dem Festlande, hat jahrzehntelang ein spornartig in die See hineinragender massiver Damm, der Admiralitäts-Pier (vergl. Abb. 8 links), eine Art Reede gebildet, an der die Dampfschiffe nach der jeweiligen Richtung des Windes bald an der östlichen, bald an der westlichen Seite Schutz fanden und anlegten. Da südöstliche Winde, die zu beiden Seiten des Dammes Seegang hätten hervorrufen können, wegen der Nähe der französischen Küste ohne Bedeutung sind und beim Übergang eines Sturmes von Westen nach Osten durch das hohe Ufer eine Zeit der Abstillung des Seeganges eintritt, so fanden die Schiffe in solchen Fällen genügend Zeit, ihren Ankerplatz zu wechseln.

In ähnlicher Weise sollen die an der Westküste Jütlands bei den Fischerdörfern Vorupör und Hanstholm[1]) (Abb. 12) angelegten, rund 310 m langen,

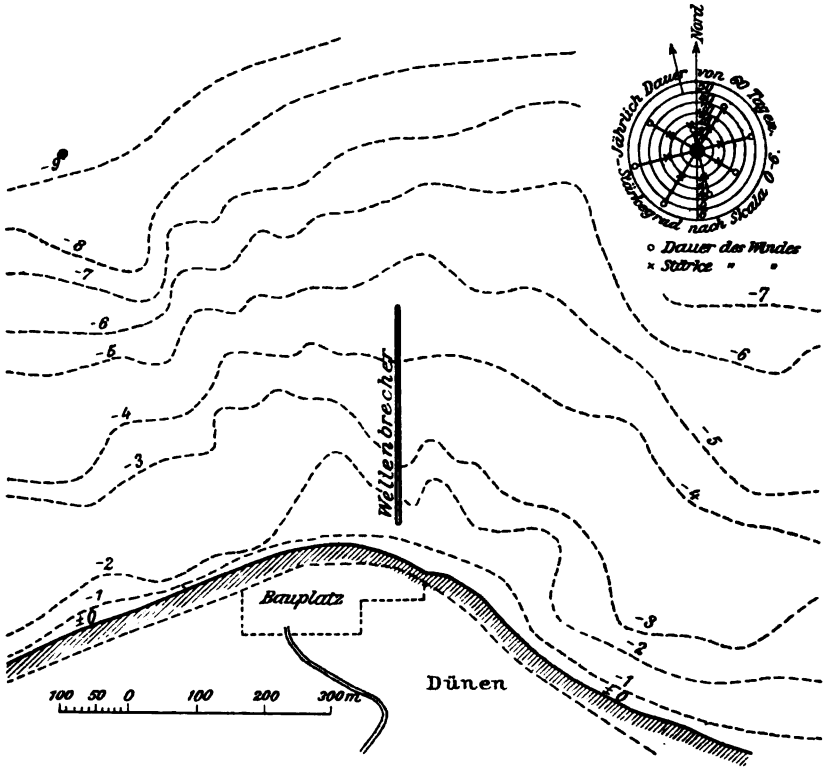


Abb. 12. Lageplan des Fischereihafens von Hanstholm, dänisches Beispiel einer durch einen Wellenbrecher gebildeten, künstlichen einseitig geschützten Reede.

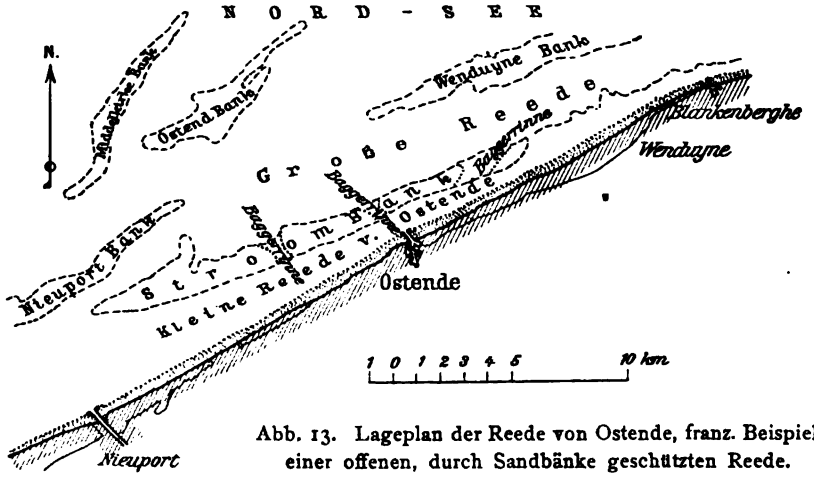


Abb. 13. Lageplan der Reede von Ostende, franz. Beispiel einer offenen, durch Sandbänke geschützten Reede.

senkrecht zum Ufer gerichteten Molen den Fischereifahrzeugen bei aufkommendem Unwetter an der sonst schutzlosen Küste je nach der Windrichtung bald

[1]) X. Internationaler Schiffahrtskongreß in Mailand, II. Abt., Frage 4 von C. Bech.

an der einen, bald an der anderen Seite Zuflucht gewähren. Um schädliche Sandablagerungen zu verhindern, beginnen die Dämme erst 47 bezw. 64 m vom Ufer.

Als Beispiel für offene Reeden seien erwähnt Ostende (Abb. 13) und Le Havre (vergl. Abb. 46), wo vorgelagerte Bänke Schutz gegen heftigen Seegang gewähren.

Ausreichende Wassertiefe. Außer dem erforderlichen Schutz muß eine Reede ausreichende Wassertiefe bieten; naturgemäß hängt diese ab von dem Tiefgang der den Hafen aufsuchenden Schiffe und ferner von der auf der Reede ungünstigenfalls noch eintretenden Wellenbewegung, damit die Schiffe bei etwaigen Bewegungen den Grund nicht berühren. Ferner müssen für die Beurteilung der Tiefe die niedrigsten Wasserstände zugrunde gelegt werden.

Bei ruhigem Wasser kann eine Tiefe von 13 bis 20 m als ausreichend angesehen werden (vergl. hierüber auch Kapitel VIII).

Guter Ankergrund. Für die auf der Reede ankernden Schiffe ist ferner die Beschaffenheit des Ankergrundes von Wichtigkeit, damit die Anker mit Sicherheit halten. Als guter Ankergrund können Ton, fester Klei und Schlick sowie ton- bezw. schlickhaltiger Sand angesehen werden. Reiner loser Sand, weicher Schlick und Fels sind als Ankergrund nicht geeignet. Auch dürfen größere Steine, Baumstämme usw. den Ankergrund nicht verunreinigen, damit Schiffe sich an ihnen nicht beschädigen oder die Anker sich verfangen.

Genügende Fläche. Eine Reede muß ferner genügende Fläche besitzen, damit vor Anker liegende Schiffe bei dem durch Änderungen der Windrichtungen oder Tideströmungen hervorgerufenen Schwingen der Schiffe um den Anker, dem sogenannten Schwajen oder Schwojen, sich gegenseitig nicht berühren. Nimmt man an, daß die Schiffe eine ihrer Länge entsprechende Kettenlänge zum Ankern ausstecken, so beschreiben sie bei 100 bis 150 bis 200 m Länge um den Anker Kreise von 200 bis 300 bis 400 m Halbmesser und gebrauchen Plätze von 400 bis 800 m Durchmesser. Durch Anwendung von zwei Ankern, an deren Verbindungskette die Ankerkette des Schiffes mittels eines Wirbels angreift, kann der Durchmesser der Ankerplätze bedeutend, bis auf die Hälfte verringert werden.

Außer den Ankerplätzen muß eine Reede genügende Ausdehnung in der Einfahrtsrichtung besitzen, um einlaufenden Schiffen Gelegenheit zum Abstoppen ihrer Geschwindigkeit oder auslaufenden Schiffen die Zeit zur Erlangung genügender Fahrt zu geben; bei ungenügender Längenausdehnung muß ausreichender Raum zum Beidrehen und Manöverieren vorhanden sein. Nach diesen Gesichtspunkten wird die Größe einer Reede von der Zahl und Größe der aufzunehmenden Schiffe abhängen und in jedem einzelnen Falle zu bestimmen sein, da allgemeine Regeln dafür nicht aufgestellt werden können. Anderseits darf eine Reede nicht zu groß gewählt werden, da dann sich leicht ein für kleinere Schiffe schädlicher Wellenschlag bildet und ferner mit der Größe die Umschließungskosten bedeutend anwachsen. Nach Voisin-Bey gilt die 3000 ha große Reede von Brest als zu groß, die 800 ha große von Cherbourg und die 400 ha große von Toulon als nicht ausreichend. Wie

bereits erwähnt, wird der neue Hafen von Dover nur eine Fläche von 275 ha besitzen.

Möglichkeit von Erweiterungen. Bei der Anlage einer Reede wird ferner die Möglichkeit späterer Erweiterungen nicht außer acht gelassen werden dürfen, ein Gesichtspunkt, der zu einer anfänglich reichlich erscheinenden Bemessung der Größe führen kann.

Außer den genannten inneren Eigenschaften muß eine Reede auch bestimmte Bedingungen nach außen erfüllen. Sie muß eine genügend breite und tiefe Ein- und Ausfahrt besitzen, um besonders das Einlaufen der Schiffe bei allen Windrichtungen, sowohl bei den herrschenden als auch den heftigsten, leicht und gefahrlos bei jedem Wasserstande zu gestatten. Die Einfahrt muß so gelegen und so weit sein, daß sie auch bei stärksten Stürmen leicht zu nehmen ist; anderseits läßt eine zu große Weite den Seegang in schädlicher Weise in die geschützte Wasserfläche eintreten.

Oft können die durch die örtlichen Verhältnisse gegebenen Bedingungen nicht durch eine Einfahrt erfüllt werden, so daß die Anordnung einer zweiten oder dritten Öffnung nach verschiedenen Richtungen den Schiffen die Wahl der passendsten nach den jeweiligen Windrichtungen offen läßt (vgl. Abb. 8, Dover und Abb. 9, Cherbourg). Bisweilen erfährt die Einfahrtsrichtung nach dem Einlaufen eine Ablenkung, damit die Wellen, nachdem das Schiff sich bereits im Schutz befindet, nicht mit in die Reede eintreten.

Über die weiteren bei der Anlage der äußeren Einfahrten in Betracht kommenden Gesichtspunkte vergleiche Kapitel VIII, hier sei nur bemerkt, daß die Einfahrtsweite wesentlich von der Größe der in dem betreffenden Hafen ankommenden Schiffe abhängt. Abmessungen von 180 bis 250 m dürften im allgemeinen ausreichen, bei Fischereihäfen können sie bedeutend kleiner sein. Der Hafen von Dover hat Einfahrtweiten von 183 und 244 m erhalten (Abb. 8), der Fischereihafen in Neukuhren besitzt eine solche von 70 m (Abb. 7), der in Hela von 50 m (Abb. 17).

Stromreeden. Bei den an der Mündung großer Ströme gelegenen Häfen, den Strom- oder Binnenseehäfen, wird die Reede meist durch den Strom selbst gebildet; genügender Schutz ist häufig durch die Ufer gegeben, wenn auch unter Umständen gegen Strömung und Eisgang besondere Sicherungsmaßregeln zu treffen sind. Die Strommündungen sind um so besser als Reeden, je weiter und tiefer sie sind und je weniger die Einfahrt durch Barrenbildungen versperrt wird, wie es in den Mündungsgebieten der dem Einfluß von Ebbe und Flut unterworfenen Flüsse häufig der Fall ist. So besitzen Hamburg in der Elbe, Bremerhaven in der Weser, Rotterdam in der Maas, Antwerpen in der Schelde, Liverpool im Mersey, London in der Themse, Lissabon im Tajo usw. eine gute Reede, während z. B. die jetzige Weichselmündung, der Po, die Wolga, die Mündungsarme der Donau (mit Ausnahme der ausgebauten Sulinamündung), für Hafenzwecke und als Reeden nicht geeignet sind, da sie in Meere ohne erhebliche Fluterscheinung münden und die von ihnen abgelagerten Sinkstoffe nicht von der durch den Flutwechsel hervorgerufenen Strömung in große Tiefen fortgeführt werden.

Der Zugang zu den Stromreeden ist, wenn nicht, wie am Mersey, starke Barrenbildung ihn versperrt, in den meisten Fällen bei guter Bezeichnung ein von den Schiffen leicht zu nehmender. Für die Erhaltung der erforderlichen Tiefe in den Strommündungen und in den Zufahrtstraßen bis zu den Binnenseehäfen ist der Ausbau der Strommündungen von großer Bedeutung, da sie für diese Häfen eine Lebensfrage ist; mehr und mehr wird daher das Augenmerk bei dem Ausbau der Mündungstrichter auf die untersten Stromstrecken gerichtet, wie es an der Elbe, der Weser, dem Mersey und vielen anderen in neuerer Zeit geschieht.

Um die auf den Strömen von den Schiffen als Reede zu benutzenden Flächen zu bezeichnen und einschränken zu können, werden auf ihnen häufig Bojen oder Dalben zum Festmachen der Schiffe vorgesehen.

Kais und Molen in Reeden, Anlaufhäfen. Außer der durch die Anordnung von Reeden geschaffenen Ruhe und Sicherheit muß ein Hafen den Schiffen bequeme Gelegenheit zum Löschen und Laden gewähren. In früheren Zeiten und in manchen Häfen auch heute noch geschieht dies in einfachster Weise, indem den auf der Reede ankernden Schiffen die Personen und Güter durch andere kleinere Fahrzeuge, Dampfer und Leichterschiffe zugeführt oder abgenommen werden. Dieses naturgemäß kostspielige Verfahren kommt in einem modernen Hafen nur in Betracht, wenn ihn Schiffe anlaufen, um Passagiere abzusetzen oder aufzunehmen, oder kleinere Teilladungen zu empfangen oder zu löschen, oder wenn ihnen zu großer Tiefgang das Einlaufen in den eigentlichen Hafen nicht gestattet, so daß auf der Reede in dem einen Falle ein Teil der Ladung gelöscht oder im anderen vervollständigt werden muß. Besonders für die großen Schnelldampfer kommt ein derartiges Verfahren in Betracht, da sie sowohl um Zeitverluste zu vermeiden nicht in die inneren Häfen einlaufen, als auch um die Abfahrtzeiten genau innehalten zu können und endlich ihres Tiefganges wegen im äußeren Hafenteil verbleiben. Aber auch in diesem Falle ist das Anlegen an festen Kais der Billigkeit und Schnelligkeit der Abfertigung wegen vorzuziehen und daher eine für diese Zwecke bestimmte Reede mit Kais oder Molen an tiefem Wasser, die unmittelbares Anlegen ermöglichen und Personen und Güter auf Eisenbahngleisen an die Schiffe heranbringen, auszustatten. Durch diese Einrichtungen im äußeren Hafen wird ein Hafenplatz zu einem der modernen «Anlaufhäfen», wie sie in neuester Zeit die großen überseeischen Schnelldampferlinien erfordern. Als solche sind in Deutschland Kuxhaven für Hamburg und Bremerhaven für Bremen, in England Liverpool, Southampton und besonders Dover und in Belgien Zeebrügge anzusehen. In Dover ist für diese Zwecke der molenartige Prinz of Wales Pier bestimmt, in Zeebrügge ist die große Mole auf der Innenseite mit den erforderlichen Kais, Gleisen und Schuppen versehen. Auf diese Weise erfolgt der Übergang der durch die Eisenbahn unmittelbar an die Schiffe herangebrachten Reisenden und Güter mit dem geringsten Zeitaufwand. Es ist hierbei nicht zu verkennen, daß diese Anlagen, die auch bei den niedrigsten Wasserständen für die größten Schiffe ausreichende Tiefe besitzen müssen, sehr kostspielig werden und daher nur auf wenige Schiffslängen bemessen werden können; die hohen Kosten werden aber dadurch

wieder aufgewogen, daß es sich nur um den Reisendenverkehr und um teuere und eilige, hohe Frachtsätze tragende Güter handelt, bei denen die Abkürzung der Überfahrt infolge des Fortfalls der meist zeitraubenden Fahrt von und nach den Binnenseehäfen und infolge der Beförderung mit großen und schnellen Schiffen eine große Rolle spielt. Derartige Anlaufhäfen bilden eine wichtige, durch die Forderungen der Neuzeit hervorgerufene Ergänzung vorhandener Binnenseehäfen und bilden ein geeignetes Mittel, um diesen ihre Stellung im Weltverkehr zu erhalten.

Eine weitere bauliche Ausbildung der Reeden für unmittelbares Anlegen von Schiffen ist in den von Kriegsschiffen benutzten Zufluchtshäfen erforderlich, wenn dort in Kriegszeiten schnell Kriegsgeräte und Truppen verladen werden sollen, und stets erwünscht in den von Fischereifahrzeugen aufgesuchten Reeden, damit die Fischer ihren Fang leicht an Land bringen können.

In solchen Fällen wird man am einfachsten einen Teil der Molen und Wellenbrecher auf der Innenseite mit steilen Wänden versehen und sie nach außen so hoch hinaufführen, daß das Hinüberschlagen von Wellen verhindert wird, während es sonst im allgemeinen genügt, die Molen oder Wellenbrecher in billigerer Weise, meist als beiderseits geböschte Steindämme, so auszubilden, daß sie die Wellen brechen, das Eindringen von Wassermassen in die Reede aber nicht verhüten.

Hafenbecken, offene und geschlossene. Für die Bewältigung größerer Warenmengen ist sowohl die Lage des Schiffes auf der Reede nicht ruhig und sicher genug, als auch das Verfahren zum Löschen und Laden zu kostspielig. Zu einem guten Hafen gehören daher noch weitere Wasserflächen, in denen die Schiffe völlige Ruhe und größte Bequemlichkeit antreffen und unmittelbar am Kai festgemacht liegen können. In den Stromhäfen kann dieser Forderung zunächst durch die Ausstattung der Ufer mit Kaimauern genügt werden, wie dies in Hamburg, Lübeck, Stettin, Königsberg, Danzig, Rotterdam, Antwerpen geschehen ist. Bei größerem Verkehr und bei den nicht an Strömen gelegenen Häfen müssen zu diesem Zweck besondere Hafenbecken angelegt werden. In Meeren mit geringen Wasserstandsschwankungen stehen diese Becken mit der Reede oder dem Strom als offene Hafenbecken in freier Verbindung und sind dann jederzeit zugänglich, wobei die Einfahrt möglichst eng gehalten wird, um die Wellenbewegung von der Reede nicht eintreten zu lassen. In Häfen mit Ebbe und Flut führen die offenen Hafenbecken, da die Tide in sie eindringt, den Namen Tidebecken. Solche offene Becken besitzen Hamburg, Bremen, Stettin, Neufahrwasser, Pillau, Kopenhagen, alle Häfen am Mittelmeer, Rotterdamm usw. Als Tidebecken würden von den genannten die von Hamburg, Bremen und Rotterdam anzusprechen sein.

In Häfen mit starkem Flutwechsel würde das Löschen und Laden bei offenen Becken durch die ständige Änderung der Höhenlage zwischen Schiff und Ufer zu unbequem und kostspielig werden; daher werden an solchen Orten die Hafenbecken durch Schleusen geschlossen und man erhält dadurch die geschlossenen Hafenbecken, auch Dockhäfen oder einfach Docks oder Flotthäfen genannt. Sie gewähren infolge des annähernd gleichbleibenden Wasserstandes den Schiffen während des Aufenthaltes im Hafen das größte

Maß von Ruhe, Sicherheit und Bequemlichkeit. Dockhäfen größeren Umfangs sind Bremerhaven, Emden, Liverpool, London, Antwerpen, Bordeaux, La Havre, Dünkirchen und viele andere.

Zum Abschluß der Docks dienen Schleusen, die als See- oder Dockschleusen den Zugang nur bei ausgespiegelten Wasserständen, als See-Kammerschleusen aber jederzeit gestatten.

In Häfen mit geschlossenen Becken ohne Kammerschleusen müssen auf der Reede oder vor den Docks einzelne Stellen mit genügender Tiefe vorhanden sein, in denen zu Niedrigwasserzeiten eintreffende Schiffe die Öffnungszeit der Schleusen abwarten können, ohne den Grund zu berühren.

Da diese tiefen Stellen oft schwierig und kostspielig zu erhalten sind, so werden in Häfen mit starkem Flutwechsel vor den Dockbecken noch ebenfalls durch Schleusen verschließbare Halbtidebecken angelegt, in denen der Wasserstand zwischen Hochwasser und halber Tide wechselt, so daß sie während der halben Tide, am Tage mithin zweimal je 6 Stunden, im ganzen also 12 Stunden offen stehen können und ebenso lange zugänglich sind. Sehr zweckmäßig werden an ein Halbtidebecken mehrere Dockbecken angeschlossen, wie es z. B. in Liverpool, vergl. Abb. 44, geschehen ist.

In den Hafenbecken kann der Seeschiffahrt die innigste Berührung mit den Landverkehrswegen gegeben werden, anderseits können auch die für den Hafen zur Verfügung stehenden Landflächen in günstigster Weise ausgenutzt werden; die Fahrzeuge der Eisenbahnen und Binnenwasserstraßen können unmittelbar an die Seeschiffe herangebracht werden, so daß der Übergang der Waren ohne Zeitverlust auf dem kürzesten Wege und mit dem geringsten Kraftaufwand bewirkt werden kann. Durch Anlage verschiedener Becken für Ein- und Ausfuhr, für wertvollere Waren und Massengüter, für den Umschlag auf Eisenbahn- und Binnenfahrzeuge, für Segelschiffe und Fischereifahrzeuge, für Petroleum und andere feuergefährliche Gegenstände kann der Verkehr übersichtlich und glatt abgewickelt und durch besondere Ausstattungen der verschiedenen Hafenbecken mit Gleisen und Kranen, Lagerplätzen, Schuppen und Speichern den Eigentümlichkeiten der betreffenden Güter angepaßt werden.

Vorhäfen. Bei den geschlossenen Becken ist vor den Schleusen die Anlage von Vorhäfen erforderlich, in denen die Schiffe vor dem Einlaufen die Fahrt abstoppen und die Richtung auf die Schleuse nehmen können; sie müssen genügend geschützt liegen und solche Breite besitzen, daß Schiffe sich in ihnen begegnen können. In den Vorhäfen können die Schiffe unmittelbar vor dem Einlaufen festmachen, um die oft kurze Öffnungszeit der Schleusen auszunutzen. Die unmittelbar vor den Schleusen liegenden Vorhäfen brauchen meist nur kleine Abmessungen zu erhalten und nur für ein bis drei Schiffe eingerichtet zu werden, wenn eine ausreichende Reede vor dem inneren Hafen liegt. Vergleiche die kleinen Vorhäfen vor den Schleusen in Bremerhaven (Abb. 36) und in Emden (Abb. 33).

Bei dem Fehlen einer Reede müssen sie größer bemessen werden, um deren Aufgaben mitzuerfüllen. Größere Vorhäfen sind daher nur erforderlich, wenn keine Reede und keine Halbtidebecken vorhanden oder beabsichtigt sind.

Ihre Größe muß so bemessen werden, daß einlaufende Schiffe freien und bequemen Zugang zu den einzelnen Hafenbecken finden und daß, abgesehen von dem Raum für die im Vorhafen sich aufhaltenden Schiffe, für Schleppdienste, Personendampfer usw. genügend Platz für einkommende Schiffe ist, um beizudrehen und zu ankern, bis die Hafenbecken zugänglich sind. Längen von 400 bis 600 m dürften für mittlere Schiffe hierzu ausreichen, bei größeren können Maße von 1000 m und darüber in Betracht kommen. Anderseits wird man die Vorhäfen auch nicht übermäßig lang machen, um für Schiffe mit großem Tiefgang, die nur bei Hochwasser genügend Wassertiefe finden, den Weg von der See zum Hafen und umgekehrt nicht unnötig lang zu machen und sein Durchfahren in der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit sicherzustellen.

Schiffs-Bau- und Ausbesserungs-Anstalten. Da Schiffe nach längeren Reisen besichtigt und ausgebessert werden müssen, und ferner beschädigte Schiffe häufig den nächsten Hafen anlaufen, so müssen in jedem Hafen Einrichtungen zur Ausbesserung von Schiffen vorhanden sein, bei Kriegs-, Zufluchts- und Fischereihäfen schon in den äußeren Hafenteilen, bei Handelshäfen meist in Verbindung mit den eigentlichen Hafenbecken. Hierzu gehören Aufschleppen für kleinere Schiffe, Trocken- und Schwimmdocks für größere Schiffe. Das Vorhandensein der letzteren auch für die größten Dampfer kann für einen Hafen von großer Bedeutung sein, zumal es zur Zeit nur wenig Häfen gibt, wo die größten Schiffe ausbessern können. Gewöhnlich sind diese Anstalten auch mit Hellingen für den Bau von Schiffen verbunden, was besonders günstig in Freihäfen ist, da dann die für den Schiffbau aus dem Auslande benötigten Baustoffe zollfrei bezogen werden können.

Verbindungswege. Endlich erfordert ein guter Hafen bequeme Verbindungswege nach dem Hinterland, die sich nur schaffen lassen, wenn der Aufbau der Ufer den Zugang zum Hafen für Landverkehrswege in einfacher Weise ermöglicht. Die beste natürliche Bucht mit vollkommenem Schutz gegen das Meer ist für die meisten Hafenzwecke wertlos, wenn steile unwirtliche Ufer sie einfassen.

Außerdem spielen bei der Auswahl eines Hafenortes klimatische Verhältnisse, insofern als Eis- und Nebelbildungen die Schiffahrt stören, eine gewisse Rolle. Gegen die durch erstere über viele Häfen verhängte, oft monatelange Sperre kann man in gemäßigten Klimaten mit Eisbrechern ankämpfen, gegen Nebel ist dagegen bisher kein Mittel gefunden, daher sind Orte mit sehr häufiger Nebelbildung für Hafenanlagen wenig geeignet.

Bei der Auswahl eines Hafenortes spielt außer der Möglichkeit, die erforderlichen Schutzbauten leicht und billig herzustellen, das Vorhandensein geeigneter Baustoffe in großer Nähe und ausreichender Menge, die Möglichkeit, brauchbare Arbeitskräfte in genügender Anzahl zu gewinnen, sowie das Vorhandensein guter Werkplätze eine große Rolle.

Aus der vorstehenden Entwicklung der an Häfen im allgemeinen zu stellenden Anforderungen ist leicht zu erkennen, daß nur verhältnismäßig wenig Küstenorte für die Anlage von Häfen geeignet sind. Natürliche günstige Bedingungen finden sich häufiger an felsigen, zerklüfteten Ufern als an flachen

Sandküsten, wo sie oft auf große Strecken ganz fehlen und wo durch die ständigen Sandbewegungen die Offenhaltung der Hafeneinfahrten sehr erschwert ist. Besonders geeignet bleiben stets die Flußmündungen besonders in den Tidemeeren, an denen sich auch in der Tat die bekannten größten Häfen entwickelt haben.

Außer den natürlichen, in technischer Hinsicht wichtigen Vorbedingungen spielen naturgemäß auch die wirtschaftlichen bei der Auswahl eines Hafenortes eine oft ausschlaggebende Rolle, wie zahlreiche ausgedehnte Handelsbeziehungen, ein reiches großes Hinterland, blühende Industrie usw.; selten gelingt es, die Handelswege von den einmal gewohnten Bahnen nach Orten fortzulenken, wo vielleicht für die Schifffahrt günstigere Bedingungen vorhanden sind.

Da ein Hafen selten auf einmal, sondern in langer Entwicklung nach und nach entsteht, so tritt an den Hafenbauingenieur heutzutage verhältnismäßig selten die Aufgabe heran, neue Häfen anzulegen; für Deutschland führten die neu erworbenen Kolonien zur Anlage neuer Häfen, wie Kiautschou, Swakopmund usw.; sonst ist in neuerer Zeit nur die Errichtung kleinerer Zufluchts- und Fischereihäfen in Frage gekommen. Viel häufiger wird die Hauptarbeit in der Entwicklung bestehender Häfen, ihrer Vergrößerung und vollkommeneren Ausstattung bestehen.

Kapitel III.

Besondere Erfordernisse und kennzeichnende Beispiele für Kriegshäfen, Zufluchtshäfen und Fischereihäfen.

Kriegshäfen. — Allgemeine Lage. — Anordnung der Hafenteile. — Beispiele: Kiel, Danzig, Wilhelmshaven.

Zufluchtshäfen. — Besondere Anforderungen an die Lage. — Beispiele an der Ostsee: Hela und Neukuhren. — Beispiele an der Nordsee: Norderney und Urk in der Zuidersee.

Fischereihäfen. — Allgemeines über die neuzeitliche Entwicklung der Seefischerei. — Unterschied zwischen Küsten- und Seefischereihäfen. — Besondere hafenbautechnische Erfordernisse. — Wassertiefe. — Lage. — Ausstattung der **Küstenfischereihäfen.** Beispiele: Memel, Kolberg, Saßnitz, Norderney. — Ausstattung der **Seefischereihäfen.** Heringsfischereihäfen und Frischfischfischereihäfen. — Beispiele: Emden, Geestemünde, Nordenham, Altona, Hamburg, Kuxhaven, Scheveningen, Ymuiden.

Außer den allgemeinen Anforderungen stellen die einzelnen Hafenarten noch besondere Erfordernisse, die für sich behandelt werden sollen.

Kriegshäfen. Ein Kriegshafen unterscheidet sich von anderen Häfen wesentlich dadurch, daß er nur dem Aufenthalt, der Ausrüstung und Versorgung von Kriegsschiffen und nicht dem öffentlichen Verkehr dient.

Durch die im Interesse der Geheimhaltung und Bewachung wichtiger Kriegsgeräte sowie wertvoller Stoffe erforderlichen Maßnahmen würde jeder öffentliche Verkehr erschwert und gehemmt werden; es ist daher zweckmäßig, entweder Kriegshäfen für sich allein anzulegen oder in gemeinsamen Häfen beide Zweige der Seeschiffahrt räumlich zu trennen.

Allgemeine Lage. Für einen Kriegshafen ist eine jederzeit, d. h. bei jeder Windrichtung und bei jedem Wasserstande zugängliche Reede ein Haupterfordernis (Kieler Bucht in Kiel — Jadebusen bei Wilhelmshaven). Auf derselben vereinigen sich die fertig ausgerüsteten und bemannten Schiffe zu Gefechtsverbänden und warten den geeigneten Augenblick zum Auslaufen ab; anderseits finden sie daselbst nach unglücklichen Gefechten oder vor einem überlegenen Gegner Schutz.

Für eine solche gegen Seegang geschützte Wasserfläche ist es daher wichtig, daß sie leicht durch Festungswerke geschützt werden kann und daß sie so weit von der See entfernt liegt, daß selbst die weittragendsten Geschütze des Feindes sie nicht mehr erreichen können.

Anordnung der Hafenbecken. An die Reede schließen sich in bestimmter Reihenfolge die einzelnen Hafenteile an. Am weitesten nach vorn befinden sich Kais oder Becken, an denen oder in denen sich die fertigen, in Dienst gestellten Schiffe aufhalten; darauf folgt das Ausrüstungsbecken, umgeben von Kasernen und Speichern mit den Ausrüstungsgegenständen der einzelnen Schiffe (den sogenannten Schiffskammern) und Gebäuden mit Munition und Proviant. Im hinteren Teile dieses Beckens, oft auch in besonderen Baubecken, sind die zur Ausbesserung und zum Neubau von Schiffen nötigen Anlagen vereinigt, Hellinge, Schwimm- und Trockendocks. Um diese Teile gruppieren sich die verschiedenen Werkstätten, Vorratslager, Verwaltungsgebäude, Beamtenwohnungen, auch Krankenhäuser usw. Zum Schutz der ganzen Anlage dienen sowohl nach der Landseite, als auch nach der Seeseite besondere Festungswerke, deren Anlage um so leichter und wirksamer sein wird, je mehr natürliche, hohe und felsige Ufer ihre Errichtung begünstigen und den Hafen gegen Sicht und Eindringen des Feindes schützen. Je nach der Lage des Hafens an Meeren mit starkem oder geringem Flutwechsel sind die Hafenbecken geschlossen oder offen; im ersteren Falle müssen aber der jederzeitigen Zugänglichkeit wegen stets Seekammerschleusen angewendet werden, die es sich empfiehlt, der größeren Leistung und Sicherheit wegen doppelt anzulegen, wenn nicht von vornherein für die geschlossenen Becken zwei oder mehrere Einfahrten vorgesehen werden. Von den deutschen Kriegshäfen sind Kiel und Danzig offene Häfen, während Wilhelmshaven einen Vertreter der geschlossenen Häfen darstellt. Wie Abb. 14 zeigt, ist Kiel nur mit offenen Becken versehen, während Wilhelmshaven (Abb. 16) nur geschlossene, durch drei Einfahrten, davon eine mit Doppelschleusen, zugängliche Becken besitzt.

Für gewisse Fahrzeuggruppen mit besonderen Eigenschaften oder von besonderen Abmessungen, wie Torpedoboote und Unterseeboote, werden zweckmäßig besondere Becken, Liegestellen und Ausbesserungsanlagen eingerichtet.

Vorstehend ausgeführte Gesichtspunkte können an den deutschen Beispielen für Kriegshäfen verfolgt werden.

Kiel. Durch seine Lage am Ende einer gegen heftigen Seegang geschützten Bucht (vergl. Abb. 3) besitzt der Kriegshafen in Kiel eine vorzügliche Reede, er ist von dem Handelshafen völlig getrennt an der Ostseite der Bucht angeordnet und besteht, von außen her betrachtet, aus einem neueren, durch eine Mole von der Bucht

abgetrennten Werftaußenhafen von 20 ha Größe der Wasserfläche mit einer 240 m weiten Einfahrt, vergl. Abb 14, zwei künstlich ausgehobenen Becken, dem Werftinnenhafen, von rund 6,3 ha Größe mit einer 90 m weiten Einfahrt, und dem Bauhafen von 4,8 ha Wasserfläche, zugänglich durch einen schmalen, mit Ponton verschließbaren Kanal. Außerdem ist noch ein besonderer, durch eine Mole geschützter Torpedobootshafen vorhanden.

Der Bestimmung der einzelnen Hafenteile entspricht ihre Ausbildung und die Art der sie umgebenden Baulichkeiten. Der Werftaußen- und Innenhafen dient zur Aufnahme der auszurüstenden Schiffe und ist daher mit den die Ausrüstungsgegenstände enthaltenden Gebäuden (*e* auf Abb. 14), wie Aus-

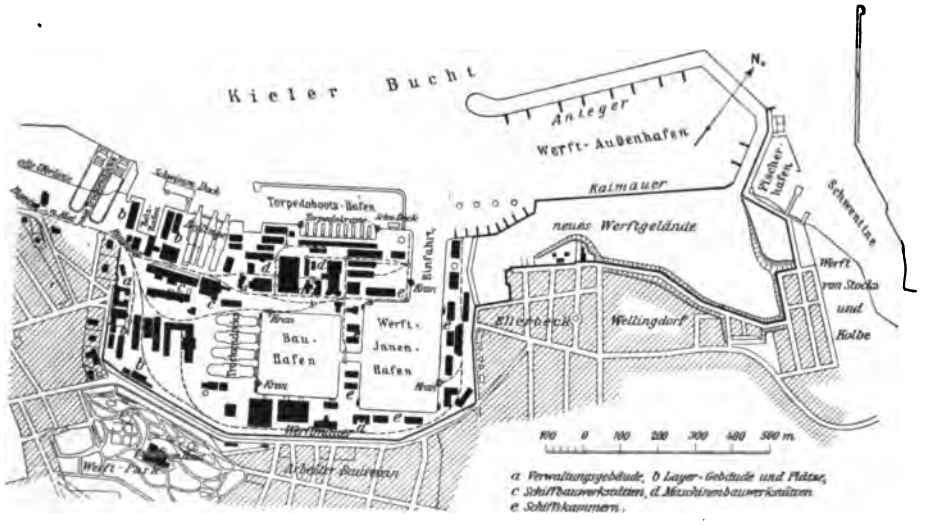


Abb. 14. Lageplan des Kriegshafens von Kiel, Beispiel eines offenen Kriegshafens.

rüstungsbureau, Schiffskammern, Magazinen, Anker- und Kettenlagerplätzen, Kohlenlagern und Teerölbehältern umgeben.

Bis auf die mit Dalben und kurzen Anlegebrücken versehene Mole des Werftaußenhafens sind die Ufer mit massiven Kaimauern eingefaßt.

An den Bauhafen schließen sich zunächst vier Trockendocks verschiedener Größe an; die Bau- und Ausbesserungseinrichtungen werden ergänzt durch die südlich vom Torpedohafen unmittelbar an dem Buchtufer gelegenen drei großen Hellinge, durch zwei neue Trockendocks, durch ein großes und ein kleines Schwimmdock und durch eine besondere Dockanlage für Torpedoboote. Diese Anlagen werden dann von den für den Bau und die Ausbesserung von Schiffen erforderlichen Gebäuden und Lagerplätzen umgeben. Sie ordnen sich, vom Eingang am Südende der Werft ausgehend, so an, daß die durch den Haupteingang einkommenden Bau- und Betriebsstoffe in gleichlaufender Richtung den Verarbeitungs- und Verwendungsstellen zugeführt werden und liegen an den, das ganze Werftgelände durchziehenden Eisenbahngleisen. Die Gebäude lassen sich in folgende Gruppen zusammenfassen: in die zunächst dem Eingang gelegenen und ferner auf die einzelnen Gruppen verteilten Verwaltungsgebäude (*a* auf Abb. 14), in die dann folgenden und am Holzhafen angeordneten

Lagergebäude und Plätze für Materialien (*b*), in die Werkstätten für den Schiffbau in der Nähe der Hellinge (*c*), in die Werkstätten für den Maschinenbau (*d*), im wesentlichen zwischen Torpedoboot- und Bauhafen errichtet, und in eine Anzahl von Magazinen (*e*) für besondere Gegenstände, wie Boote, Masten, Scheinwerfer, Torpedos, Geschütze usw.

Den verhältnismäßig geringen und seltenen Wasserschwankungen entsprechend, vergl. die Zusammenstellung der Ostseewasserstände in Kapitel V, sind alle Hafenbecken als offene angelegt; ihre Wassertiefe beträgt in dem neueren Teil 10.5 m unter Mittelwasser, wobei mit einem größten Tiefgang der Schiffe von 8,5 m, einem niedrigsten Wasserstand von 1,5 m unter Mittelwasser und 0,5 m Spielraum unter dem Kiel der Schiffe gerechnet wurde. Die Oberkante der Kaimauern liegt 3,45 bezw. 3,5 m über Mittelwasser und überragt damit den höchsten bekannten Wasserstand.

Von den Werftanlagen bilden der Werftinnen- und der Bauhafen den ältesten, seit 1871 begonnenen Teil; später sind die Anlagen für die Torpedoboote hinzuge-

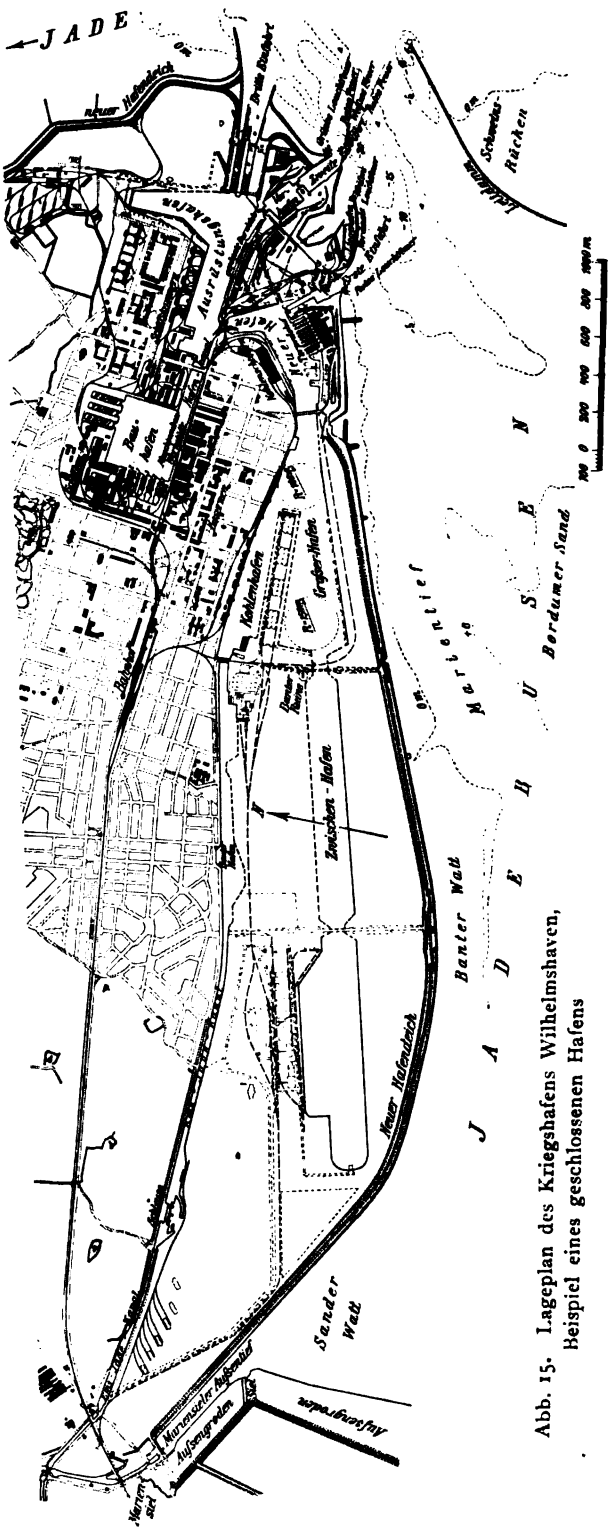


Abb. 15. Lageplan des Kriegshafens Wilhelmshaven, Beispiel eines geschlossenen Hafens

kommen, im Jahre 1902 die beiden großen Trockendocks und 1909 der große Werftaußenhafen.

Wilhelmshaven. Im Gegensatz zu Kiel liegt der Kriegshafen Wilhelmshaven an einem der Flut- und Ebbeerscheinung unterworfenen Meere und an einer Stelle, wo der gewöhnliche Flutwechsel 3,59 m beträgt, zwischen dem bekannten niedrigsten und höchsten Wasserstande aber ein Unterschied von 9,43 m stattfindet. Außerdem besteht im Jadebusen ein sehr bedeutender Schlickfall, bis zu 10 m jährlich, so daß beide Umstände die Anordnung eines geschlossenen Hafens mit dem Flutwechsel und der Sinkstoffzuführung entzogenen Hafenbecken geboten erscheinen ließen. Anderseits begünstigt der Flutwechsel die Offenhaltung der Zufahrt des Hafens, indem die bei Flut in den Jadebusen eingetretenen Wassermassen an der für den Hafen ausgewählten Einschnürungsstelle bei Ebbe zu kräftiger Spülwirkung zusammengedrängt werden (vergl. Abb. 5). Zur Verstärkung dieser Wirkung dient ein auf dem sogenannten Schweinsrücken aus Buschpackung und Steinen in der Mitte des letzten Jahrzehnts vorigen Jahrhunderts angelegter, rund 5,5 km langer Leitdamm.

Die Entwicklung des Kriegshafens ist seit dem Jahre 1853, dem Zeitpunkt der Abtretung des Hafengeländes von Oldenburg an Preußen, mit der Vergrößerung der Kriegsflotte stetig fortgeschritten. Dabei wurde mehrmals durch umfangreiche Eindeichungen und Aufhöhungen von Wattflächen das Hafengebiet vergrößert.

Die allgemeine Anordnung des Hafens entspricht den oben entwickelten Gesichtspunkten, vergl. den Lageplan Abb. 15. An die mit kurzen Vorhäfen versehenen Seeschleusen schließen geräumige, von Schiffskammern und Kohlenlagern umgebene Ausrüstungsbecken an, zu denen hier noch besondere Liegehäfen hinzugefügt sind, weil das Fehlen einer so großen geschützten Reede, wie Kiel sie hat, das Bedürfnis nach geschützten Liegeplätzen mit gleichbleibendem Wasserspiegel besonders fühlbar macht. Mit dem Ausrüstungshafen steht durch den Hafenkanal der Bauhafen, als innerster, am geschütztesten liegender Hafenteil, in Verbindung, an den sich sechs Trockendocks verschiedener Größe und zwei Hellinge anfügen. Das den Bauhafen umgebende, von zahlreichen Eisenbahngleisen durchzogene Gelände ist ähnlich wie der Kieler Hafen mit Verwaltungsgebäuden, Magazinen nebst Lagerplätzen und Werkstätten enggedrängt besetzt und zwar liegen die Anlagen für den Schiffbau im wesentlichen an der Nordwestecke und diejenigen für Maschinen- und Kesselbau auf der Südseite des Bauhafens.

Seit der vor kurzem erfolgten Eröffnung der dritten Hafeneinfahrt besitzt der Hafen drei betriebsfähige Eingänge, die das Einlaufen der größten Linienschiffe bei jedem Wasserstande gestatten.

Die älteste Einfahrt des Hafens ist die mittlere (heutige zweite), sie wurde 1869 eröffnet und besteht aus zwei durch ein 175 × 125 m großes Hafenbecken getrennten Dockschleusen von 20,75 Lichtweite und rund 4,75 m Tiefe unter gewöhnlichem Niedrigwasser. Letztere können von tiefergehenden Schiffen nur bei höheren Wasserständen und als Kammerschleuse nur dann benutzt werden, wenn das genannte Hafenbecken als Kammer dient; dieses hat auch eine gewisse Bedeutung als Halbtidebecken. An diese Einfahrt schloß ursprünglich

in der Richtung des heutigen Ausrüstungshafens ein 1200 m langer Hafenkanal an, der zu dem Bauhafen führte.

Diesen ältesten Teilen des Kriegshafens haftete der Nachteil an, daß die Benutzbarkeit des Hafens von der Betriebsfähigkeit einer einzigen Schleuse abhing, die noch dazu eine sehr ungünstige Lage hatte, da die Schiffe quer zu den Tideströmungen ein- bezw. auslaufen mußten und dabei in Gefahr kamen, gegen die Molen zu treiben. Da die Anlagen sich ferner bald als zu klein erwiesen, wurde bald an die Vergrößerung herangegangen, die im Jahre 1886 in der Hauptsache ihren Abschluß erreichte. Hierbei wurde zunächst eine neue (die heutige erste) Einfahrt südlich von der alten Einfahrt angelegt und mit einer 120 m langen, 24 m weiten Kammerschleuse von rund 5,5 m Tiefe unter gewöhnlichem Niedrigwasser und mit zwei die Einfahrt begrenzenden Molen ausgestattet, von denen die 600 m lange, gekrümmte Nordmole gleichzeitig die Begrenzung eines kleinen offenen Liegehafens bildet. Die Lage der Einfahrt hat sich den Strömungen gegenüber wesentlich günstiger als die alte erwiesen. Die Kammerschleuse ist am hochwasserfreien Außenhafen durch doppelte Stemmtore, am nur 5 m über gewöhnlichem Niedrigwasser hohen Binnenhaupt durch ein Schwimmponton verschließbar; die geringe Höhe des Binnenhauptes und der gleich hohen Kammermauern macht jedoch eine Benutzung der Schleuse bei außergewöhnlich hohen Außenwasserständen unmöglich.

Beide Einfahrten können ihrer geringen Drempeltiefe wegen bei niedrigen Wasserständen nur von kleinen Fahrzeugen benutzt werden.

Die neue Einfahrt führt in ein geräumiges Hafenbecken, den neuen Hafen, das einerseits durch ein Schwimmponton mit dem Ausrüstungshafen, anderseits mit dem ungefähr zur gleichen Zeit hergestellten Ems-Jade-Kanal in Verbindung steht. Gleichzeitig mit der Ausführung dieser Bauten wurde der Hafenkanal auf dem größten Teil seiner Länge durch eine wesentliche Verbreiterung zum Ausrüstungshafen umgestaltet.

In dem neuen Hafen, der ursprünglich auch Handelszwecken dienen sollte, wurde ein besonderer Torpedoboothafen und ein Bauhafen für die Hafenbauverwaltung untergebracht.

In der beschriebenen Form hat der Kriegshafen bis zum Ende des vorigen Jahrhunderts allen Ansprüchen genügt. Mit der durch die neuen Flottengesetze zu erwartenden Vermehrung der Zahl der Schiffe und ihrer Abmessungen wurden im Anfang des laufenden Jahrhunderts weitere Arbeiten zum Ausbau des Hafens in Angriff genommen, von denen die wesentlichsten Teile heute bereits zum Abschluß gelangt sind.

Diese Arbeiten bestanden in der Anlage einer den höchsten Ansprüchen genügenden, in der Verlängerung des Ausrüstungsbeckens liegenden dritten Einfahrt, bestehend aus einem durch 600 bezw. 300 m lange Molen eingefaßten, kleinen Vorhafen und zwei nebeneinander liegenden Kammerschleusen von 260 m Länge zwischen den Toren, 40 m Weite und 10 m Tiefe unter mittlerem Niedrigwasser, so daß die größten Schiffe auch bei Niedrigwasser in den Hafen gelangen können, und umgekehrt. Der Verschluß erfolgt durch einflügelige Schiebetore.

Für die durch diese Anlagen in Anspruch genommenen Ausrüstungs- und Liegeplätze wurde durch ein neues, nach Norden gerichtetes Hafenbecken Ersatz geschaffen. Der Bauplatz für die dritte Einfahrt und das Nordbecken wurde durch einen neuen Seedeich von dem Jadebusen abgetrennt. In gleicher Weise wurde durch einen zweiten, südlich von Wilhelmshaven liegenden, rund 5 km langen Deich, der von der ersten Einfahrt bis Mariensiel reicht, eine gewaltige Fläche gewonnen, die für absehbare Zeit dem Raumbedürfnis des Hafens genügen wird. Auf der eingeschlossenen Fläche haben ein geräumiger Liegehafen, ein Torpedohafen im Anschluß an den neuen Hafen Platz gefunden, während Erweiterungen der anschließenden Strecke des Ems-Jade-Kanals zu einem Kohlen- und einem Kanalhafen führten. Hierbei mußte die bestehende Kanalschleuse abgebrochen und durch eine neue weiter westlich ersetzt werden.

An dem Bauhafen wurde eine Verbreiterung um 100 m nach Norden hin vorgenommen, einer der bestehenden Hellinge vergrößert und mit neuzeitlichen Kranen ausgestattet, sowie die Anlage von drei großen, 190 m langen und 30 m breiten Trockendocks vorgenommen. Zur Herstellung einer guten Verbindung zwischen der dritten Einfahrt und den südlichen Hafenteilen wird die Insel zwischen der ersten und zweiten Einfahrt durchstochen werden und eine mit Schiebeponton verschließbare Durchfahrtsöffnung erhalten, damit die Wasserstände der beiden Beckengruppen unabhängig voneinander bleiben. Gleichzeitig mit den beschriebenen Umgestaltungen der Hafenbecken ging eine Veränderung der Verkehrswege durch Verlegung vorhandener Straßen und Eisenbahngleise, Anlage neuer Wege und Brücken usw. Hand in Hand.

Durch die Vollendung dieser Arbeiten wird Wilhelmshaven unter den Kriegshäfen einen der ersten Plätze mit einnehmen; die Entwicklung seiner Anlagen, gleichlaufend mit den sich steigernden Anforderungen, bildet ein besonders lehrreiches Beispiel und wurde daher etwas ausführlicher behandelt.

Danzig. Der Vollständigkeit wegen sei auch der Kriegshafen Danzig, der in mannigfacher Beziehung wesentlich andere hafenbauliche Verhältnisse als Kiel und Wilhelmshaven aufweist, als Beispiel hinzugefügt. Auf die geschichtliche Entwicklung der in der Mitte des vorigen Jahrhunderts begonnenen Werftbauten soll hier nicht näher eingegangen werden, vielmehr nur der heutige Zustand der Marinehafenanlagen kurz beschrieben werden.[1])

Als Reede dient für den Kriegshafen der durch die Halbinsel Hela geschützte Teil der Danziger Bucht (vergl. Abb. 4). Besondere künstliche Hafenbecken für Ausrüstungs- und Bauzwecke sind nicht vorhanden; für diese Zwecke werden die von Natur gegebenen Stromstrecken der toten Weichsel benutzt, an deren Ufern an verschiedenen Stellen Werftanlagen angelegt sind. Den Kern des Hafens bilden die westlich von der Mottlaumündung und dem Anfang des Kaiserhafens (vergl. den Lageplan der Danziger Hafenanlagen Abb. 30) zu beiden Seiten der toten Weichsel belegenen, durch Abb. 16 in ihrer jetzigen Gestalt wiedergegebenen Werftanlagen. Von diesen sind für Liege- und Ausrüstungszwecke diejenigen auf dem rechten Weichselufer an der

[1]) Vergl. Danzig und seine Bauten, S. 385 u. f., Berlin 1908, Verlag von Wilhelm Ernst u. Sohn; ebendaher Abb. 16.

sogenannten Holmfläche belegenen bestimmt. Zu dem Zwecke ist das Ufer durch Gordungswände und kurze Landebrücken zu Liegeplätzen für eine größere Anzahl von Schiffen ausgerüstet; auf dem dahinter liegenden Gelände befinden sich, durch Gleise verbunden, eine Anzahl Schiffskammern mit den Ausrüstungs-

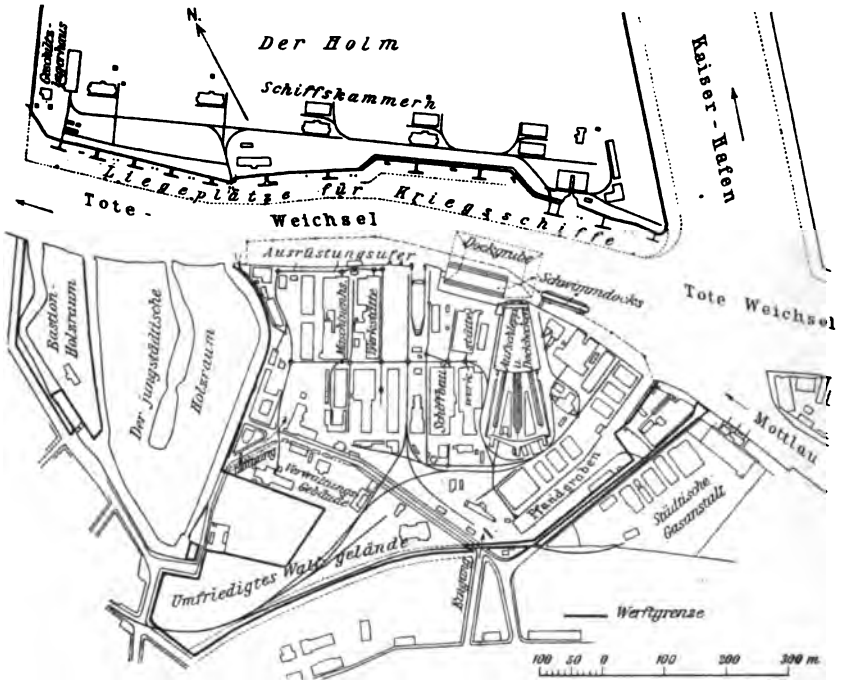


Abb. 16. Lageplan der kaiserlichen Werft in Danzig, Beispiel eines offenen, an einem Flußlaufe gelegenen Kriegshafens.

gegenständen der Schiffe, ein Geschützlagerhaus, ein Bootsmagazin und verschiedene andere kleinere Lagerplätze und Schuppen.

Durch diese Einrichtungen bildet das Holmufer mit der davorliegenden Wasserfläche gewissermaßen den Ausrüstungshafen der Werft. Ihm gegenüber liegt der Bauhafen, der aus dem linken Weichselufer und den daran anschließenden Baulichkeiten besteht. Diese setzen sich ähnlich wie bei den anderen Werften aus Verwaltungs- und Bureaugebäuden, vornehmlich in der Nähe der Haupteingänge gelegen, ferner aus einer großen Anzahl von Lagerschuppen und Plätzen, aus den Werkstätten für Maschinenbau auf der westlichen Seite und denen für den Schiffbau auf der östlichen Seite zusammen. Letztere scharen sich um die für den Schiffbau bestimmten Anlagen, bestehend aus einer kleinen Helling und einem dreifachen Horizontalslip mit Schwimmdock. Diese besonderes Interesse verdienende Anlage ist späterhin unter den Schiffsausbesserungs- und Bauanlagen noch näher behandelt worden; hier sei nur erwähnt, daß sie die gleichzeitige Ausbesserung von vier Schiffen von der Größe kleiner Kreuzer, oder den Bau von drei Schiffen dieser Art gestattet, während das Schwimmdock für andere Zwecke frei bleibt.

Ein kleines Schwimmdock für Torpedoboote und ein Schwimmkran von 100 t Tragfähigkeit vervollständigen die Bauanlagen.

Zu den Werftanlagen gehören ferner noch Liegeplätze am rechten Weichselufer oberhalb Weichselmünde und in Neufahrwasser auf dem linken Ufer ein umfangreicher Kohlenlagerplatz, ein Teerölbehälter und eine Pumpstation, um Brennstoffe und Wasser in möglichster Nähe der See bereit halten zu können (vergl. Abb. 30).

Zufluchtshäfen. Gleiche Anforderungen wie die Kriegshäfen stellen die Zufluchtshäfen in bezug auf jederzeitige, bei Tage wie bei Nacht und bei jedem Wetter, möglichst gefahrlose Zugänglichkeit. Sie sollen in erster Linie in Gefahr befindlichen Schiffen oder solchen, die bei schwerem Sturme aus irgend einem Grunde nicht auf der offenen See bleiben können, Zuflucht und Sicherheit gewähren.

Besondere Anforderungen an die Lage. Ihr Platz wird daher besonders an solchen, lebhaft besuchten Küsten sein, die natürliche, geschützte Buchten nicht aufweisen. Auch werden sie ihren Zweck mehr erfüllen und leichter aufgefunden werden und anzusegeln sein, wenn sie an einer vorspringenden Küste, als in der Tiefe einer weiten Bucht liegen, wo ihre Auffindung bei Nebel nicht ganz leicht ist und beim Verfehlen des Hafens die Gefahr des Auflaufens auf den Strand droht.

Um die Einfahrt jederzeit zugänglich zu gestalten, muß sie genügende Wassertiefe auch bei Niedrigwasser aufweisen; die Einfahrt muß ferner so gelegen sein, daß die Schiffe bei allen Windrichtungen, bei den herrschenden sowohl als auch bei den heftigsten Winden, ohne Gefahr einlaufen können, denn das Anlaufen eines Zufluchtshafens verfehlt seinen Zweck, wenn die Einfahrt mit größerer Gefahr verbunden ist als das Verbleiben auf der See.

Es gelten daher für die Einfahrt in einen Zufluchtshafen die gleichen Gesichtspunkte wie bei jeder guten Reede; er wird seinen Zweck aber um so besser erfüllen, je näher er dem Hilfe suchenden Schiffe liegt. Daher sollte an langen ungastlichen Küsten die Entfernung der Zufluchtshäfen nicht zu groß sein.

Außer an die Einfahrt sind weitgehende Anforderungen an die Sicherheit und Ausdehnung des Ankerplatzes zu stellen. Dieser muß einen guten Ankergrund in geschützter Lage aufweisen und je nach der verschiedenen Größe der Schiffe Liegestellen mit ausreichender Größe für alle Zwecke der Handelsschiffahrt besitzen; bisweilen werden auch noch besondere Liegeplätze für Kriegsschiffe oder Fischereifahrzeuge gefordert.

Weiterhin zeichnet einen guten Zufluchtshafen die leichte Möglichkeit aus, die ihn aufsuchenden Schiffe mit Vorräten gewöhnlicher Art, wie Lebensmittel und Kohlen usw., zu versorgen und das Vorhandensein von Anstalten zur Vornahme einfacherer Ausbesserungen.

Zur Erzielung ausreichenden Schutzes genügt in den meisten Fällen die Anordnung von Wellenbrechern, mit der Absicht, schweren Seegang von dem

Zufluchtshafen fernzuhalten, es können daher billigere, beiderseits geböschte, Formen zur Anwendung gelangen. Sollen aber in einem Teil des Hafens auch Schiffe unmittelbar am Ufer festmachen, so kann dies geschehen, indem man den Wellenbrecher auf der Binnenseite mit lotrechten Wänden versieht und ihn mit Schuppen, Gleisen usw. ausstattet oder in anderer Weise einen gut geschützten Kai an tiefem Wasser errichtet.

In einem von Kriegsschiffen aufgesuchten Zufluchtshafen können an ausgebauten Ufern leicht Kriegsgeräte oder Truppen an Bord genommen oder, wenn hauptsächlich Fischereifahrzeuge in dem Hafen verkehren, leicht die Fänge an Land gebracht und Lebensmittel sowie Geräte übergenommen werden.

Für einen Zufluchtshafen, der auch für Kriegszwecke dienen soll, ist die natürliche Gelegenheit zur Anlage von Verteidigungswerken zu mäßigen Kosten, ferner auch seine Lage in Mitte eines zu verteidigenden Küstenabschnitts, die ihn auch zum Beoachtungsposten über die Bewegungen des Feindes geeignet macht, von Bedeutung.

Zu den natürlichen Zufluchtshäfen gehören vor allen Dingen auch die Strommündungen, besonders in den Tidemeeren, auch bieten Inseln oder Landvorsprünge natürliche Gelegenheit zur Zuflucht. In den meisten Fällen werden natürlich auch andere günstig gelegene Häfen als Zufluchtshäfen mitbenutzt. An der deutschen Küste sind daher unter den Zufluchtshäfen zu nennen in der Nordsee die Ems-, Weser-, Elbemündung, der Jadebusen, Plätze hinter den nord- und ostfriesischen Inseln. In der Ostsee sind die Kieler Bucht, die Häfen zu Warnemünde, Stralsund, die Swinemündung, die Dievenowmündung, Kolbergermünde, Treptower Deep, Rügenwaldermünde, Stolpmünde, die Lebamündung, die Danziger Bucht, Neufahrwasser, die Weichselmündung, Pillau, Memel usw. als Zufluchtshäfen zu betrachten.

Ausgesprochene Zufluchtshäfen werden meist nur für kleinere Fahrzeuge, für die Küstenschiffahrt und vornehmlich für die Seefischerei angelegt, da große Schiffe leichter imstande sind, einen Sturm zu überwettern und das Verbleiben auf offener See dem oft nicht ungefährlichen Anlaufen eines Hafens vorziehen.

In neuerer Zeit sind daher Zufluchtshäfen hauptsächlich für Fischerfahrzeuge angelegt worden, um den nicht hochseetüchtigen Fahrzeugen bei Stürmen sichere Zuflucht zu gewähren und ihnen den Absatz ihres Fanges zu erleichtern. Durch derartige, meist unter Zuhilfenahme staatlicher Unterstützung ausgeführte Bauten ist in Deutschland wie in England, Holland, Frankreich usw. die Erhaltung einer lebensfähigen Fischereibevölkernng an den Küsten und die Versorgung des eigenen Landes mit einem gesunden, billigen Nahrungsmittel bedeutend gefördert worden.

Für Fischereizwecke bestimmte Zufluchtshäfen müssen an solchen Stellen angelegt werden, wo den Fahrzeugen besondere Gefahr droht und in der Nähe der am meisten aufgesuchten Fischgründe. Ihr Haupterfordernis bleibt, sicheren Schutz zu gewähren und bei jedem Wetter angesegelt werden zu können. Ihre Entfernung voneinander sollte nur so groß sein, daß sie bei einem schnell aufkommenden Sturm noch von den Fischern erreicht werden

können. Ihre innere Einrichtung kann sehr einfach sein, wenn sie nicht gleichzeitig für Handelszwecke oder Fischversand benutzt werden sollen.

Beispiele in der Ostsee. In der Ostsee sind in Hela und Neukuhren neuere Häfen für Fischereifahrzeuge angelegt worden, die hier als Beispiele vorgeführt seien.[1])

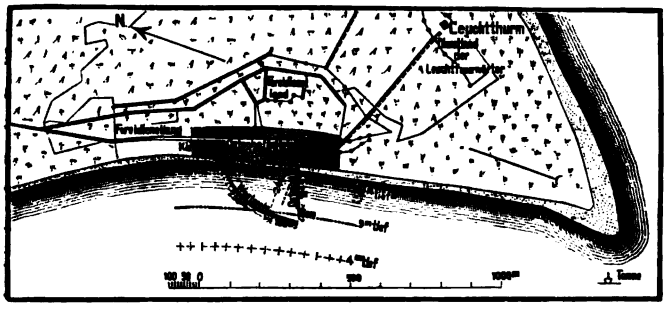


Abb. 17. Fischereihafen von Hela, Beispiel eines Zufluchthafens an der Ostsee.

Hela. Für den östlichen Teil der Ostsee bildet die Danziger Bucht (vergl. Abb. 4) den Mittelpunkt der Seefischerei mit dem Hauptstützpunkt in dem für den Bahnversand wohlgeeigneten Hafen von Neufahrwasser; da aber auf der über 80 Seemeilen langen Küstenstrecke zwischen der Lebamündung und Pillau außer dem durch die Halbinsel selbst gewährten Schutze kein weiterer Zufluchtsort lag und das in der über 20 Seemeilen tiefen Bucht gelegene Neufahrwasser besonders bei starken südlichen Winden gar nicht oder nur mit bedeutendem Zeitverlust anzulaufen war, so wurde in den Jahren 1892 und 1893 nach einem Plane von Kummer durch Wilhelms in der Nähe der Südspitze der Halbinsel bei dem Orte Hela durch zwei bis zu einer Wassertiefe von 2,6 m hervortretende Molen eine kleine Wasserfläche als Zufluchtshafen umschlossen, die eine nach Süden gerichtete, 50 m weite Einfahrt frei lassen (Abb. 17). Über die Bauart der Molen ist im zweiten Band näheres mitgeteilt. Durch diese Anlage ist eine bedeutende Belebung der Hochseefischerei eingetreten und alljährlich, besonders im Herbst, bewährt sich die Anziehungskraft des gegen Seegang geschützten Platzes, indem große Fischerflotten von der ganzen Küste Pommerns, Ost- und Westpreußens dahin kommen, um die reichen Schätze des Meeres zu heben. Von den für die Hochseefischerei nach Lachsen und Heringen hauptsächlich in Betracht kommenden Booten sind besonders die sogenannten schwedischen gedeckten Kutter zu erwähnen, die bei 7,5 bis 9 m Länge, 2,7 bis 3 m Breite und 0,9 bis 1,1 m Tiefgang mit 30 bis 50 qm Segelfläche sich als genügend seetüchtig, aber auch leicht handlich erweisen und die genannte Fischerei erfolgreich gestalten.

An Kosten wurden für den Bau ohne die gemauerten Blöcke auf den Molen 180 000 Mark aufgewendet

Neukuhren. Ähnliche Verhältnisse wie in Hela führten an der ostpreußischen Küste, wo für die Fischer zwischen Pillau und Memel auf eine Strecke von 60 Seemeilen kein Schutz zu finden war, zur Anlage des Zufluchtshafens bei dem Fischerdorfe Neukuhren (vergl. Abb. 7). An der gewählten

[1]) Vergl. Wilhelms, Fischerei- und Zufluchtshäfen, Bericht zum XI. Internationalen Schiffahrtskongreß St. Petersburg 1909.

Zentralblatt der Bauverwaltung 1894, S. 452 bis 455, Aufsatz von Wilhelms.

Stelle entsteht durch die natürliche Gestalt des Ufers, indem der Strand scharf nach Süden zurücktritt und die dadurch gebildete Wanger Spitze noch durch ein flaches, nach Osten gerichtetes Steinriff verlängert wird, eine kleine Bucht von 4 m Tiefe, die gegen westliche bis nordwestliche Winde Schutz gewährt. Gegen Norden und Osten wurde nun durch Anlage von zwei kleinen Wellenbrechern in der an der Ostsee üblichen Bauweise mit einer nach Nordosten gerichteten, 70 m weiten Einfahrt Schutz geschaffen (vergl Abb. 7). Zur Wahl von Wellenbrechern an Stelle von Molen führten hier Sparsamkeitsrücksichten und die Absicht, den an der Küste entlang bewegten Sand ungehindert in das Hafenbecken eintreten zu lassen, wo er sich an unschädlichen Stellen ablagern soll, damit er durch Baggern leicht beseitigt werden kann. Im anderen Falle würden die Sandmassen an den Molen entlang wandern und in der Einfahrt eine Barre bilden. Von dem östlichen Wellenbrecher führt ein hölzerner Steg an das Land, um Netze übernehmen oder gefangene Fische löschen zu können.

Für den im Jahre 1903 begonnenen Bau, der bereits in Benutzung genommen wurde, waren die Baukosten auf 657 000 Mark veranschlagt worden.

In ähnlicher Lage in die See hinausgebaute Fischereizufluchtshäfen an der freien Küste befinden sich in der Ostsee unter anderen noch an der Greifswalder Oie, bei Saßnitz, Lohme, Stahlbrode usw.

Beispiele an der Nordsee, Norderney. Von den an der Nordsee angelegten Zufluchtshäfen ist besonders derjenige von Norderney hervorzuheben, der in Verbindung mit einem ausgedehnten Spülbassin im Jahre 1890 ausgebaut wurde (vergl. Abb. 23).

Bei der Bemessung derartiger Häfen ist nicht nur das örtliche Bedürfnis zugrunde zu legen, sondern die Größe der Fischerflotten des ganzen Küstenstriches mit in Rechnung zu ziehen und auf die Möglichkeit späterer Erweiterung Rücksicht zu nehmen.

Urk. Von den an der holländischen Küste befindlichen Zufluchtshäfen für die Küstenfischerei, die aber fast nie allein als solche, sondern gleichzeitig auch als Fischereihäfen angelegt worden sind, sei

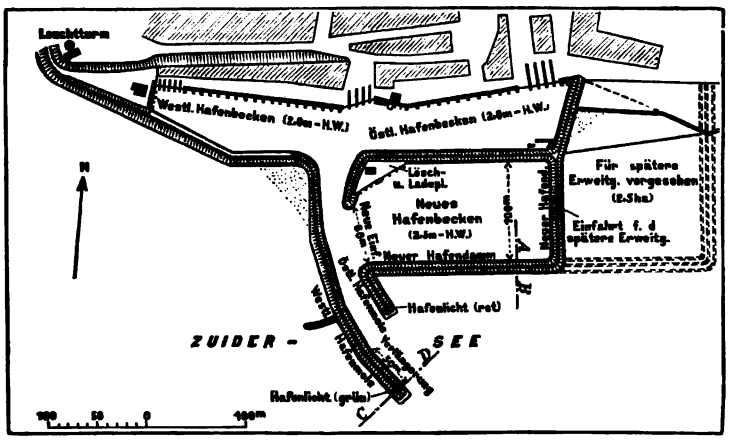


Abb. 18. Fischereihafen von Urk in der Zuidersee, Beispiel eines Zufluchthafens an der Nordsee.

als ein Beispiel eines Hafens, bei dem die Rolle des Zufluchtshafens eine überwiegende ist, der auf einer Insel in der Zuidersee belegene Hafen von Urk[1])

[1]) Zentralblatt der Bauverwaltung 1904, S. 161; De Ingenieur 1903, Nr. 32.

angeführt. Aufgesucht wird er hauptsächlich von Schiffen mit 15,70 m Länge, 4,80 m Breite und 1,50 m Tiefgang, von denen nur 240 in Urk beheimatet sind, aber 900 bis 1000 zeitweilig Unterschlupf suchen. Zur Vergrößerung des 2,4 ha Wasserfläche aufweisenden alten Hafens (Abb. 18) wurde in den Jahren 1902 bis 1903 durch einen neuen, rund 300 m langen Hafendamm südlich von dem bisherigen östlichen Hafenbecken eine 2 ha große Wasserfläche von der Zuidersee abgetrennt und durch eine Unterbrechung der bisherigen Ostmole zugänglich gemacht; gleichzeitig erhielt die westliche Hafenmole eine Verlängerung um 50 m. Hierdurch wurde der erforderliche Platz geschaffen, der späterhin noch, wie Abb. 18 erkennen läßt, um 2,5 ha erweitert werden kann. Zu beachten ist bei dieser Erweiterung besonders, daß man es vermieden hat, große einheitliche Becken zu schaffen, um die Entstehung eines heftigeren Wellenschlages zu vermeiden; auch die spätere Erweiterung soll durch eine enge Einfahrt aus dem gleichen Grunde als besonderes Becken angeschlossen werden. Über die für holländische Bauten typischen Hafendammquerschnitte befinden sich im zweiten Bande nähere Angaben.

An den vorgeführten, aus der Unzahl von Beispielen herausgegriffenen Anlagen ist das Wesen der für kleine Fahrzeuge bestimmten Zufluchtshäfen zu entnehmen.

Für alle Arten von Zufluchtshäfen ist noch die Kenntlichmachung der Einfahrten durch Tagesmarken, Leuchtfeuer, Bojen und Nebelsignale von gleicher Bedeutung, um sie zu jeder Zeit, bei Tage und bei Nacht und bei jedem Wetter, leicht auffindbar zu machen.

Fischereihäfen. Allgemeines über die neuzeitliche Entwicklung der Seefischerei. Unter allen Seehäfen befinden sich die Fischereihäfen bei weitem in der Mehrzahl, wenn sie auch vielfach technisch nicht von großer Bedeutung sind, so verdienen sie doch bei ihrer Anzahl und ihrer Wichtigkeit für die Erhaltung einer gesunden, seemännisch geschulten Bevölkerung im Hinblick auf den Ersatz bei den Marinen und für die Versorgung der Binnenländer mit frischen Seefischen, einem Volksnahrungsmittel ersten Ranges, die besondere Aufmerksamkeit der Hafeningenieure, umsomehr als mit dem Verlassen der ursprünglichen veralteten Fangmethoden und der neuzeitlichen Entwicklung der Küsten-, See- und Hochseefischerei an vielen Orten Fischerflotten aus Fahrzeugen größerer Abmessungen entstanden, die in bezug auf Schutz und Sicherheit im Hafen und auf schnelle Verwertbarkeit ihrer leicht verderblichen Fänge höhere Anforderungen an die Häfen stellen, als es vor wenigen Jahrzehnten der Fall war.

Noch in der Mitte des vorigen Jahrhunderts war die deutsche Seefischerei in den ersten Anfängen, man begnügte sich mit Fängen in den großen Flußmündungen oder unmittelbar an der Küste und führte sie benachbarten Märkten zu; eine Versendung in das Binnenland fand in größerem Umfange nicht statt.

Erst die neueren Bestrebungen seit der Gründung des Deutschen Reiches brachten hierin wesentliche Änderungen hervor. So wurde an der Nordsee nach dem Beispiel der Niederländer für den Heringsfang eine Flotte geschaffen,

die 1906[1]) aus 182 Loggern, 16 Dampfern und 16 Dampfloggern bestand und, von der Ems, Weser und Elbe ausgehend, einen Fang von etwa 276 000 Faß Heringen im Werte von 7 Millionen Mark hereinbrachte, etwa $^1/_5$ des Bedarfs an Salzheringen in Deutschland. Eine ebenso günstige Entwicklung nahm der Frischfischfang auf der Hochsee, seitdem nach dem Beispiel der Engländer an Stelle der Angelfischerei von besonderen Dampfern gezogene Grundschleppnetze zur Einführung gelangten und aus dem im Jahre 1884 von Geestemünde ausgehenden ersten Fischdampfer bis heute über 210 geworden sind, von denen etwa 150 an der Weser und über 60 an der Elbe beheimatet sind und dort ihre reichen Fänge landen und dem Binnenlande zuführen.

Weniger günstig hat sich die Entwicklung der Küsten- und Seefischerei an der fischärmeren Ostsee gestaltet, sie bedarf daher besonderer staatlicher Fürsorge und Unterstützung.

In ähnlichem Maße hat sich auch in anderen Ländern eine bedeutende Entwicklung der Seefischerei eingestellt. In England hat sich die Fischdampferflotte von 1895 bis 1905 von 657 bis 1518 Dampfer vermehrt und der Gesamtwert der im Jahre 1905 von über 110 000 dabei beschäftigten Personen gefangenen Fische hat die Höhe von 150 Millionen Mark erreicht.[2])

In gleichem Maße bildet in den Niederlanden seit alten Zeiten die Fischerei einen wichtigen Erwerbszweig, in dem z. B. im Jahre 1906 über 60 000 Personen Brot und Beschäftigung fanden, auch hier haben sich sowohl bei der Treibnetzfischerei Dampflogger, als auch bei der Grundschleppnetzfischerei Fischdampfer, dort Dampftrawler genannt, in großem Umfange eingebürgert.

Unterschied zwischen Küstenfischerei- und Seefischereihäfen. Durch die geschilderte Entwicklung des neuzeitlichen Fischereibetriebes haben sich die an die Fischereihäfen zu stellenden Anforderungen geändert und zum Teil so gesteigert, daß ihre volle Erfüllung nicht mehr in jedem Hafen geschehen kann, besonders auch im Hinblick darauf, daß bei der geringen Leistungsfähigkeit der Fischereibevölkerung fast überall Staatshilfe eintreten mußte, um sowohl diese und ihr Gewerbe zu erhalten und die aus dem Seefischfang für die Bewohner des Binnenlandes erwachsenden Vorteile zu gewinnen. Zur Bevorzugung und besonderen Ausgestaltung einzelner, von Natur begünstigten Fischereihäfen führte ferner der Umstand, daß die in neuerer Zeit benutzten Fahrzeuge größere Abmessungen erhielten, daß für diese viele der alten Häfen und Küstenorte nicht mehr genügten und daß ferner die großen Massen der täglich angebrachten frischen Fische und die Notwendigkeit ihrer schnellen Verwertung und Versendung das Vorhandensein besonders günstiger Verkehrsverbindungen mit dem Binnenlande voraussetzten.

Man kann daher unter den Fischereihäfen unterscheiden: erstens Küstenfischereihäfen, in denen keine besonderen Einrichtungen zur schnellen Verwertung der Fänge nötig sind, vielmehr die Fische an Händler verkauft und

---

[1]) Wilhelms, Fischerei- und Zufluchtshäfen, Bericht zum XI. Internationalen Schiffahrtskongreß in St. Petersburg 1908.

[2]) A. E. Carey, Fischereihäfen und Zufluchtshäfen, Bericht zum XI. Internationalen Schiffahrtskongreß in St. Petersburg 1908.

entweder frisch oder geräuchert im Hafenorte oder dessen näherer Umgebung Verwendung finden und zweitens die eigentlichen Seefischereihäfen, in denen durch besondere Verkaufseinrichtungen und Fischmärkte, Eisenbahn- und Fabrikanlagen die schnelle und preiswürdige Verwertung der Fänge erfolgt.

Besondere hafenbautechnische Erfordernisse. In hafenbautechnischer Beziehung stellen beide Hafenarten naturgemäß gleiche Anforderungen. Sie müssen ebenso wie die Zufluchtshäfen jederzeit ohne Gefahr und Zeitverlust und auch ohne Rücksicht auf die Tideverhältnisse angelaufen werden können. Daher werden sie am besten als offene Häfen angelegt, wenn auch dabei an Stellen mit starkem Tidehub manche Nachteile mit in Kauf genommen werden müssen. Gerade für Fischer ist eine bequeme, jederzeit zugängliche Einfahrt besonders wertvoll, da sie dann solange als möglich bei den Netzen bleiben und dem Fange obliegen können, während sie im anderen Falle schon beizeiten die Netze verlassen müssen, um die Zeit der Einfahrt nicht zu versäumen.

Auch handelt es sich oft darum, die Fänge zu ganz bestimmten Zeiten in den Hafen zu bringen, um wichtige Eisenbahnanschlüsse zu erreichen, was bei einer von Ebbe und Flut abhängigen Einfahrt nicht möglich wäre.

Da ferner ein großer Teil der Fischereifahrzeuge segelt, so müssen die Einfahrten das Ein- und Auslaufen bei allen Windrichtungen, besonders aber bei den herrschenden leicht ermöglichen.

Wenn auch mit Rücksicht auf leichtes Einlaufen die Einfahrtrichtung am besten mit der des schwersten Seeganges zusammenfällt, so ist es doch oft im Hinblick auf die Kleinheit der Fahrzeuge wünschenswert, im Hafen möglichst geringe Wasserbewegung zu haben und die Einfahrt so zu legen, daß schwerer Seegang ausgeschlossen wird. Wo dies nicht möglich ist, kann die Anordnung eines Vorhafens, wie z. B. in Scheweningen (siehe weiter unten), an den der eigentliche Hafen mit enger Öffnung anschließt, zweckmäßig sein. Bei der Bemessung der äußeren Einfahrt ist auch zu berücksichtigen, daß die Fischer eines Ortes gewöhnlich zu gleichen Zeiten ein- und auslaufen und besonders bei der Heimkehr zur schnellen Erreichung des Marktes oder bei aufkommendem Sturm in der Einfahrt sich zusammendrängen und, wenn diese zu eng ist, leicht Unfälle erleiden.

Für die Größe der Wasserfläche ist naturgemäß die Anzahl und Größe der für den betreffenden Hafen in Betracht kommenden Boote maßgebend, wobei sowohl die an dem Orte beheimatete Fischereiflotte, als auch die benachbarten mit zu berücksichtigen sind.

Bei den meist sehr knappen Mitteln wird oft zur ersten Befriedigung des Bedürfnisses nur eine kleinere Anlage ausgeführt werden; wichtig ist es aber von vornherein, eine leichtmögliche spätere Erweiterung vorzusehen.

Wassertiefe. Für die Bemessung der kleinsten Wassertiefe dient der Tiefgang der den Hafen aufsuchenden Schiffe als Maßstab. Wie die in Kapitel I gegebene Zusammenstellung zeigt, würde beispielsweise für kleine Kutter mit 0,9 bis 1,1 m Tiefgang, wie in Hela, eine Tiefe von 1,5 m, für Ewer und große Kutter mit 1,7 bis 2,4 m Tiefgang eine solche von 2 bis 3 m, für Logger und

Smaks mit 2,7 bis 3,35 m Tiefgang eine solche von 3,5 m und für Fischdampfer eine solche von 4,4 bis 5 m erforderlich sein.

Lage. Was die Lage der Fischereihäfen anbetrifft, so ist für Küstenfischereihäfen, die fast ausschließlich von Segelfahrzeugen aufgesucht werden, eine den Hauptfangplätzen möglichst nahe Lage sehr erwünscht, da dann die Hin- und Rückfahrten abgekürzt werden und mehr Zeit für den Fang verbleibt, wenn nicht die Schiffe vorziehen, längere Zeit in See zu bleiben und die Fänge durch besondere Schiffe von den Fanggründen an Land zu senden, wie es in Holland und England bereits geschieht. Für die großen Seefischereihäfen ist der gleiche Vorteil ebenfalls erwünscht, spielt aber hier nicht eine so große Rolle, da es den Dampfern ohne Schwierigkeit und nennenswerte Kosten möglich ist, die Fische weiter binnenwärts zu Verkehrsmittelpunkten zu führen, von denen die Absatzmärkte bequem zu erreichen sind. Es liegen daher die Küstenfischereihäfen, wie die oben gegebene Aufzählung deutscher Zufluchtshäfen, die alle gleichzeitig als Fischereihäfen dienen, zeigt, behufs Erfüllung ihres Doppelzwecks meist an weit vorgeschobenen Stellen der Küste, während die deutschen Seefischereihäfen, wie Geestemünde, Nordenham, Altona, Hamburg, Kuxhaven mit Ausnahme des letzteren, sich tiefer im Binnenlande befinden.

Ausstattung der Küstenfischereihäfen. In bezug auf besondere Einrichtungen stellen die Küstenfischereihäfen nur geringe Anforderungen. Viel-

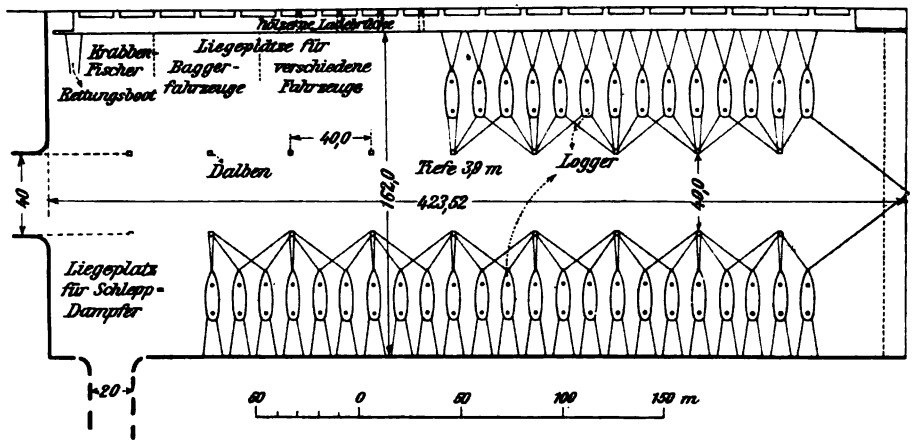


Abb. 19. Beispiel für die Befestigung von Fischereifahrzeugen senkrecht zur Uferlinie nach dem Hafen von Scheveningen.

fach bildet ein genügend langes Stück Kaimauer, ein Bohlwerk oder ein hölzerner Laufsteg, an dem die Schiffe mit dem Heck vertäut anlegen, die einzige Ausstattung. Erwünscht ist, daß die dahinterliegende Kaifläche 10 bis 15 m breit und annähernd eben ist, damit Platz zur Ablagerung der Fanggeräte vorhanden ist. Werden die Schiffe längs der Kaie befestigt, so rechnet man an Uferlänge für ein Schiff mit Rücksicht auf die Tagelage eine um die Schiffsbreite vermehrte Schiffslänge und an notwendiger Hafenbreite die anderthalbfache Schiffsbreite. Für den freien Raum eines sich bewegenden Schiffes rechnet man 2 bis 3 Schiffsbreiten und als Länge zum Abstoppen der

Fahrt, nachdem bei der Einfahrt die Segel genommen sind, kann man 3 bis 4 Schiffslängen annehmen.

Liegen die Schiffe mit dem Heck am Ufer, so wird die Kaillänge besser ausgenutzt, dann muß vor dem Kai in einer Entfernung von etwa 2 bis 3 Schiffslängen und in einem gegenseitigen Abstande von 4 bis 6 Schiffsbreiten eine Reihe von Dalben eingerammt werden, an denen die Schiffe, wie Abb. 19 zeigt, festmachen können. Auch durch senkrecht zum Ufer angelegte Laufstege, an denen die Schiffe beiderseits mit dem Heck festmachen, und dazu gleichlaufende Dalbenreihen kann eine gute Ausnutzung einer Hafenfläche erreicht werden. Zwischen den Dalbenreihen bleibt, wie Abb. 19 zeigt, zweckmäßig ein für den Verkehr freizuhaltender Raum von 4 bis 6 Schiffsbreiten. Bei einer derartigen Unterbringung sind alle Schiffe vollkommen unabhängig. Im Winter und in Notfällen können die Fahrzeuge natürlich viel enger, bis dicht bei dicht gelegt werden.

Da in den Küstenfischereihäfen die Fänge von Flundern, Heringen, Sprotten, Breitlingen usw. von den Fischern freihändig oder auf Grund abgeschlossener Verträge an einzelne Händler verkauft werden und von diesen in frischem Zustande im Hafenorte selbst veräußert und entweder sofort in frischem Zustande oder nach vorheriger Verarbeitung in Marinieranstalten oder Räuchereien versandt werden, so sind weitere Einrichtungen nicht erforderlich. Wichtig bleibt aber auch für kleine Fischerorte stets der Anschluß an moderne Verkehrswege.

Bei den bereits erwähnten deutschen Beispielen für Zufluchtshäfen, die

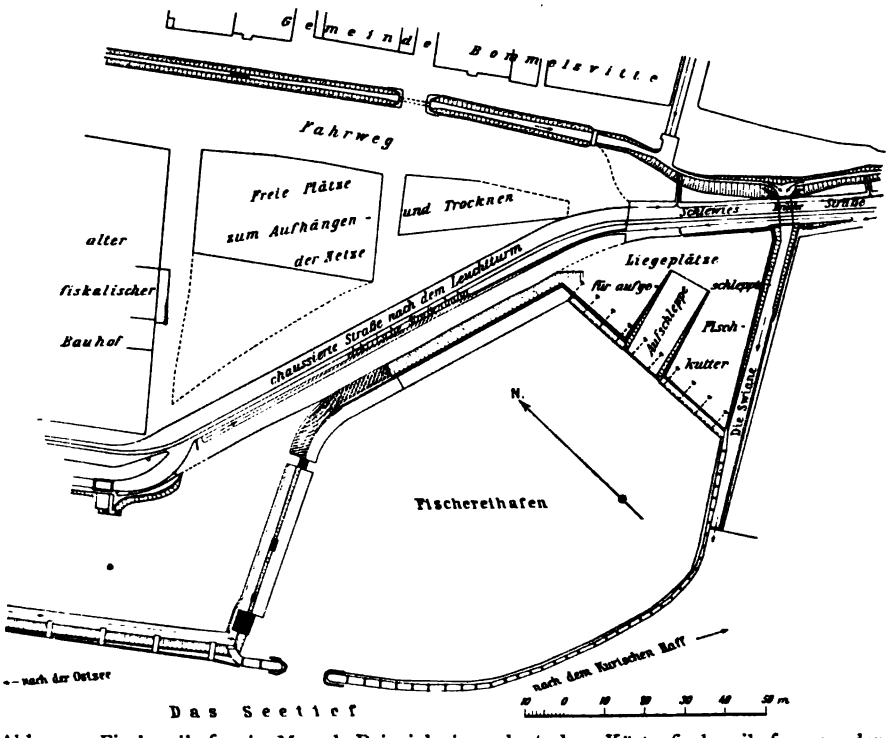


Abb. 20. Fischereihafen in Memel, Beispiel eines deutschen Küstenfischereihafens an der Ostsee ohne besondere Einrichtungen.

auch als solche für Küstenfischereihäfen gelten können, besteht zum Absatz der Fänge in Hela regelmäßige Dampferverbindung mit Danzig und in Neukuhren Eisenbahnanschluß, wie ihn auch die meisten der deutschen Küstenfischereihäfen besitzen.

Von diesen seien noch folgende näher behandelt.

Memel. In Memel wird der Fischereihafen durch ein am Seetief bei Bommelswitte liegendes, durch Molen umschlossenes Becken (Abb. 20) unregelmäßiger Form gebildet, dessen größte Ausdehnung über 110 m in der Längen und etwa 75 m in der Breitenrichtung beträgt. Seine Ufer bilden von Spundwänden gestützte Steinböschungen, vor denen hölzerne Ladebrücken angebracht sind. Am hinteren Ende des Beckens befindet sich eine Aufschleppe und ein Liege-

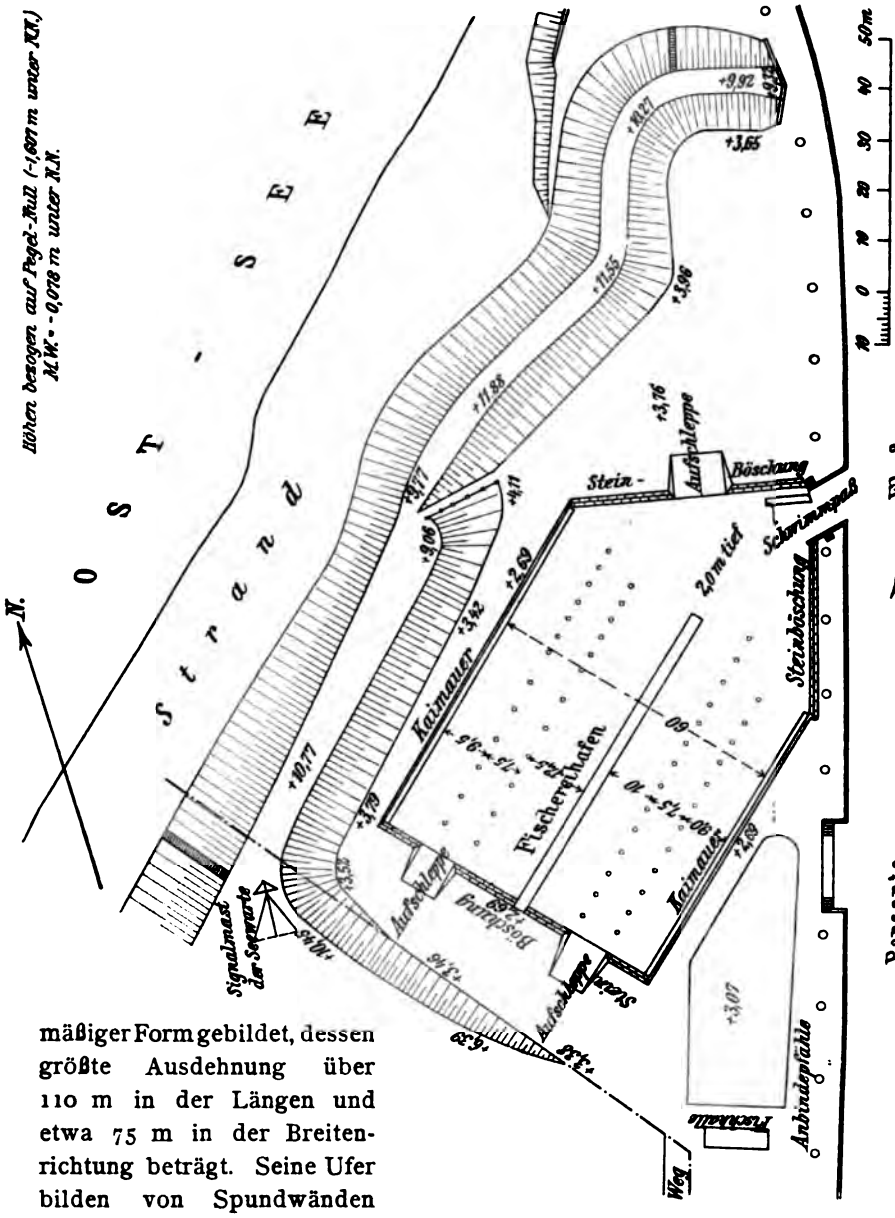


Abb. 21. Fischereihafen in Kolbergermünde, Beispiel eines deutschen Küstenfischereihafens an der Ostsee mit Laufsteg und Dalbenreihen.

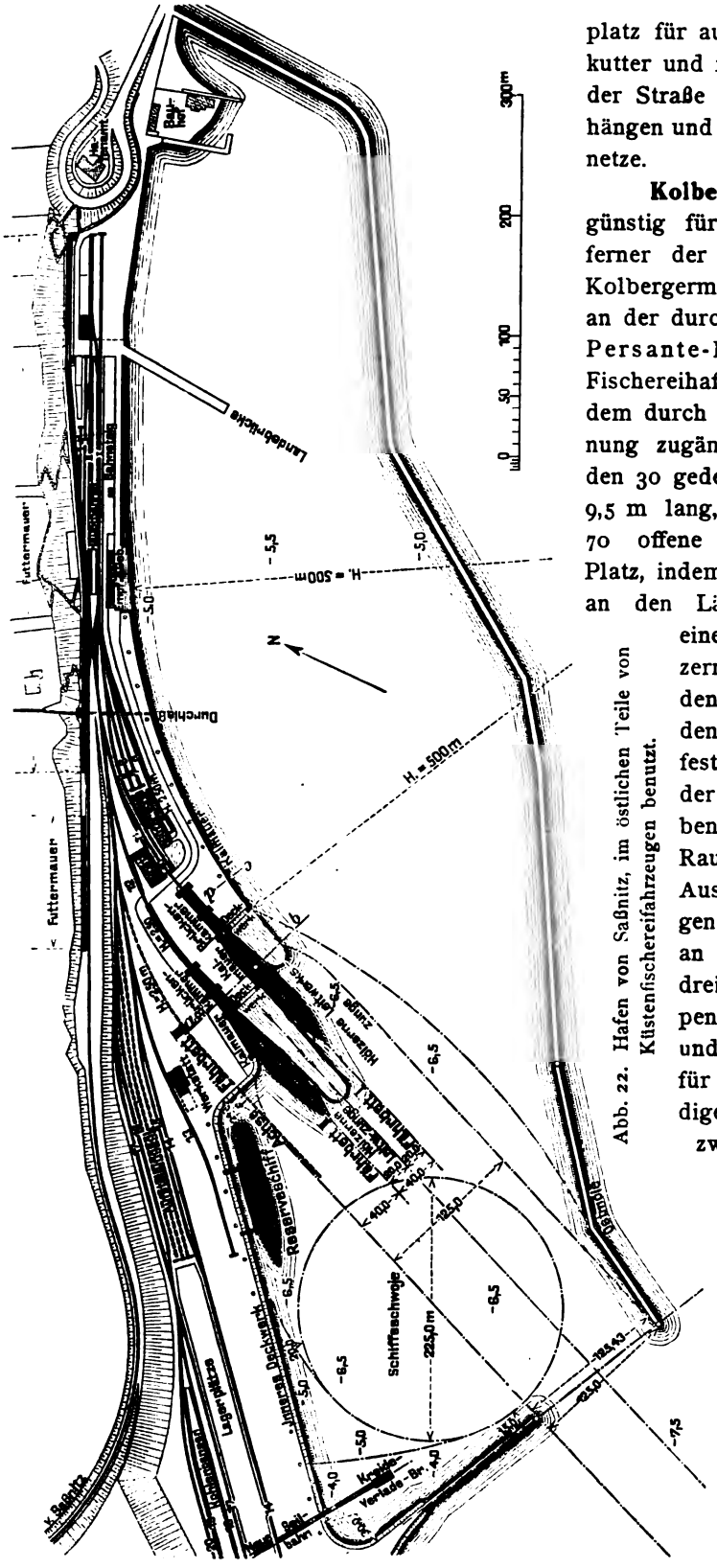


Abb. 22. Hafen von Saßnitz, im östlichen Teile von Küstenfischereifahrzeugen benutzt.

platz für aufgeschleppte Fischkutter und rechts davon jenseit der Straße ein Platz zum Aufhängen und Trocknen der Fischnetze.

Kolbergermünde. Sehr günstig für die Fischer liegt ferner der im Jahre 1894 in Kolbergermünde[1]) unmittelbar an der durch Molen eingefaßten Persante-Mündung angelegte Fischereihafen (Abb. 21). In dem durch eine 9 m breite Öffnung zugänglichen Becken finden 30 gedeckte Hochseekutter, 9,5 m lang, 3,15 m breit, und 70 offene Küstenfischerboote Platz, indem sie mit dem Heck an den Längsufern und an einem 2 m breiten hölzernen Laufsteg und den damit gleichlaufenden vier Dalbenreihen festmachen; dabei dient der zwischen den Dalben befindliche freie Raum für die Ein- und Ausfahrt. Steinböschungen, zwei Kaimauern an den Längsseiten, drei kleine Aufschleppen, eine kleine Halle und ein Trockenplatz für Netze vervollständigen die einfache, aber zweckentsprechende und kennzeichnende Anlage. Zur Abhaltung

[1]) Zeitschrift für Bauwesen 1899, S. 79 und 249: Benoit und Roloff, Baugeschichte des Hafens von Kolberg.

der Dünung von dem Hafenbecken dient ein die Einfahrtsöffnung verschließendes Schwimmfloß.

Saßnitz. Von den zahlreichen Fischereihäfen an der vorpommerschen Küste ist der von Saßnitz[1]) auf der Insel Rügen infolge seiner Vereinigung mit einem kleinen Handelshafen und der Überfahrtstelle nach Trelleborg in Schweden der bedeutendste.

Für den Schutz der Wasserfläche dient eine östlich des Hafens vom Ufer ausgehende Mole (Abb. 22), die an dem von den Fischerfahrzeugen benutzten östlichen Teil des Hafens mit einer Gordungswand versehen wurde. Sie schließt am Fischereihafen eine Wasserfläche von 3 m, im übrigen aber von 5 m Tiefe unter Mittelwasser ein.

Ein interessantes Beispiel eines kleinen Fischerei- und Zufluchtshafens bietet der bereits oben erwähnte Hafen von Norderney[2]) (Abb. 23).

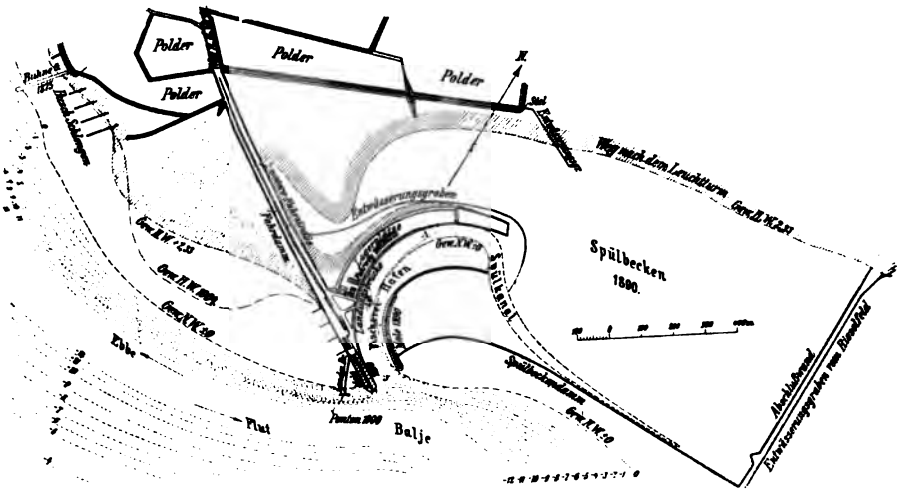


Abb. 23. Fischereihafen von Norderney, Beispiel eines deutschen Küstenfischereihafens an der Nordsee.

Im Schutz der vorgelagerten Insel gelegen, wird er durch einen gekrümmten, von einem westlichen und einem östlichen Hafendamm eingefaßten Hafenschlauch gebildet, dessen Tiefe durch ein rund 1000 m langes und 800 m breites Spülbecken erhalten wird.

In großer Zahl finden sich ferner Küstenfischereihäfen an den Küsten des Zuidersees und Hollands, von denen der technisch bedeutendste bereits auf S. 36 unter den Beispielen für die Zufluchtshäfen beschrieben und durch Abb. 18 dargestellt wurde. Ebenso ist die englische und schottische Küste reich an Fischereihäfen.[3])

[1]) Zeitschrift für Bauwesen 1904, S. 103; Wellmann und Sandmann, Die Seehäfen von Neuvorpommern.

[2]) Zeitschrift für Bauwesen 1891, S. 518; Graevell, Fischereihafen auf Norderney.

[3]) Carey, Fischereihäfen und Zufluchtshäfen, Bericht zum XI. Internationalen Schifffahrtskongreß in St. Petersburg 1908.

Eine Anzahl holländischer und englischer Fischereihäfen ist von Tolle beschrieben worden. Siehe Zeitschrift für Bauwesen 1887, S. 454.

Ausstattung der Seefischereihäfen. In bezug auf Zugänglichkeit, Einfahrt, Wassertiefe und Fläche stellen die eigentlichen Seefischereihäfen, entsprechend den größeren Abmessungen der sie aufsuchenden Schiffe, zwar gleichartige, aber im Hinblick auf den größeren Wert der Fahrzeuge höhere Anforderungen, desgleichen müssen auch die inneren Einrichtungen vollkommener sein.

Am wenigsten Ansprüche stellen in dieser Hinsicht die Seefischereihäfen, in denen nur Salzheringe angebracht werden.

An holländischen und deutschen Küsten, wo die Heringe meist auf See gleich nach dem Fange geschlachtet und eingesalzen werden und in Fässern verpackt im Hafen ankommen, sind außer bequemen Löschplätzen keine besonderen Anlagen erforderlich, da die einzelnen Heringsfang-Gesellschaften ihren Fang nach eigenen Grundstücken schaffen und dort durch Umpacken, Sortieren usw. weiter verarbeiten. Zu diesem Zweck benötigen sie Lagerräume für die angekommene und für die fertige versandfähige Ware und Packräume; außerdem sind Räume für die Herstellung. Ausbesserung, Spülung und Trocknung der Netze erforderlich.

Zu einem solchen Hafen gehören ferner für die Versorgung des Schiffes Lager von Proviant, Holz und Kohlen und für die Wiederherstellung beschädigter Fahrzeuge einfache Ausbesserungsanstalten. Die Anlage einer Faßfabrik kann außerdem von großem Nutzen sein.

In englischen Häfen werden die Heringe in frischem Zustande an Land gebracht und dann erst gereinigt, gesalzen und verpackt, wozu ausgedehnte private Schuppenanlagen erforderlich sind.

Kennzeichnend für die Heringsfischereihäfen ist besonders, daß es bei ihnen nicht darauf ankommt, die Ware möglichst rasch zu veräußern und weiter zu senden, da sie durch das Salzen haltbar gemacht wird.

Gerade das Gegenteil ist bei den Häfen der Fall, in denen die Frischfischfänge zum Markte kommen. In den für diesen Teil der Hochseefischerei in neuerer Zeit am häufigsten benutzten Fischdampfern werden die Fische im Schiffsraum zwischen Eis verpackt dem Hafen oft in großen Massen gleichzeitig zugeführt. Es kommt nun darauf an, die Fänge so rasch als möglich zu verkaufen und so frisch als möglich den Verbrauchern im Binnenlande zu übersenden. Aus diesen Gründen haben sich in allen großen, dem Frischfischfang dienenden Seefischereihäfen ganz bestimmte Einrichtungen entwickelt.[1]) Außer jederzeitiger, am besten daher durch offene Einfahrten zu erfüllender Zugänglichkeit und ausreichenden Löschplätzen an festen Kais oder Landungsbrücken ist für den schnellen Verkauf eine unmittelbar an den Löschplätzen liegende ausgedehnte Verkaufshalle erforderlich, in deren meist offenem, nach dem Wasser zu liegendem Teil die Fänge übersichtlich ausgebreitet werden und im Wege der Versteigerung an die Händler übergehen. In dem nach

[1]) Tolle, Die Nordseefischerei und die Fischereihäfen an der Nordsee in Holland, Belgien, England, Schottland und Deutschland, Zeitschrift für Bauwesen 1887, S. 454, Zeichnungen auf Blatt 55 u. 56. — Schelten, Pampel und Hoebel, Einrichtung und Betrieb der Fischereihäfen in England und Schottland, Zeitschrift für Bauwesen 1894, S. 557, Zeichnungen auf Blatt 66 u. 67.

binnen gelegenen Teile der Halle befinden sich dann die an Private abgegebenen Verpackungs- und Eisräume und oft in einem zweiten Stockwerk Geschäfts- und Lagerräume für die Verpackungsstoffe.

Für die weitere Versendung ist dann weiter auf dem Hafengelände eine an die Eisenbahn angeschlossene Güterabfertigungsstelle erforderlich; es empfiehlt sich ferner, auf der Binnenseite der Hallen Eisenbahngleise für die Abfertigung ganzer Wagenladungen anzuordnen. Zur weiteren Abwicklung des Verkehrs gehören dann außerdem Post- und Telegraphenämter, Heuerbureaus, Seemannsheime und Gastwirtschaften. Um den Schiffen nach Ablieferung ihres Fanges zu ermöglichen, so schnell als möglich wieder in See zu gehen, müssen im Hafen die erforderlichen Vorräte an Lebensmitteln, Kohlen und Eis bereitgehalten werden. Meist erfolgt die Versorgung der Fangschiffe an besonderen, mit Schuppen ausgestatteten Uferstrecken. In einigen Häfen geschieht dies, noch während die Schiffe den Fang löschen, durch längsseitliegende Schuten. Endlich ist die Anordnung von Aufschleppen und Dockanlagen zur schnellen Vornahme von Ausbesserungen im Fischereihafen unerläßlich, falls nicht Schiffswerften in unmittelbarer Nähe liegen.

Weniger zum eigentlichen Hafen gehörig, aber doch für große Seefischereihäfen von nicht zu unterschätzender Bedeutung sind gewerbliche Anlagen, in denen in Zeiten reicher Fänge die Fische, die nicht zum Versand gelangen, weiter verarbeitet werden, so daß ein Verschleudern der Ware zu unangemessenen Preisen verhindert wird. Auch Anlagen für die Verwertung von Fischabfällen, wie Fischräucher-, -Brat- und -Marinieranstalten, sowie Fischmehl- und Tranfabriken nebst Rogensalzereien gehören hierher. Außerdem werden in der Nähe des Hafens zweckmäßig Korb- und Netzmachereien sowie Eisfabriken angelegt.

Beispiele für Seefischereihäfen. Emden. Eine Reihe von kennzeichnenden Beispielen möge die vorstehenden Ausführungen erläutern. In Deutschland kommt für die Heringsfischerei im großen hauptsächlich Emden in Betracht, das im Jahre 1904 etwa 65 Logger mit 410 Mann Besatzung auf den Fang schickte. Für Fischereizwecke werden in Emden im alten Hafen 3 kleine Seitenbecken benutzt, die an die betreffenden Gesellschaften verpachtet sind, vergl. Abb. 33.

Geestemünde. Für den Frischfischfang hat der durch den preußischen Staat in den Jahren 1892 bis 1896 mit einem Kostenaufwand von 8 Millionen Mark angelegte Fischereihafen von Geestemünde[1]) die größte Ausdehnung erlangt. An dem Außendeiche neben dem alten Handelshafen gelegen und durch zwei mächtige Hafendämme aus Erde mit befestigten Böschungen umschlossen, stellt er ein 60 m breites, offenes Hafenbecken von 1200 m Kailänge und 4,4 m Tiefe unter gewöhnlichem Niedrigwasser dar, das, für den Fischdampferverkehr bestimmt, unabhängig von den Tideverhältnissen durch eine 110 m weite Einfahrt jederzeit zugänglich ist (vergl. Abb. 24). Es sei hier angeführt, daß die Interessenten jetzt der Umwandlung des offenen Beckens in ein Dockbecken durch Anlage einer vollkommen ausgestatteten Kammer-

[1]) Zentralblatt der Bauverwaltung 1897, S. 358 u. 378.

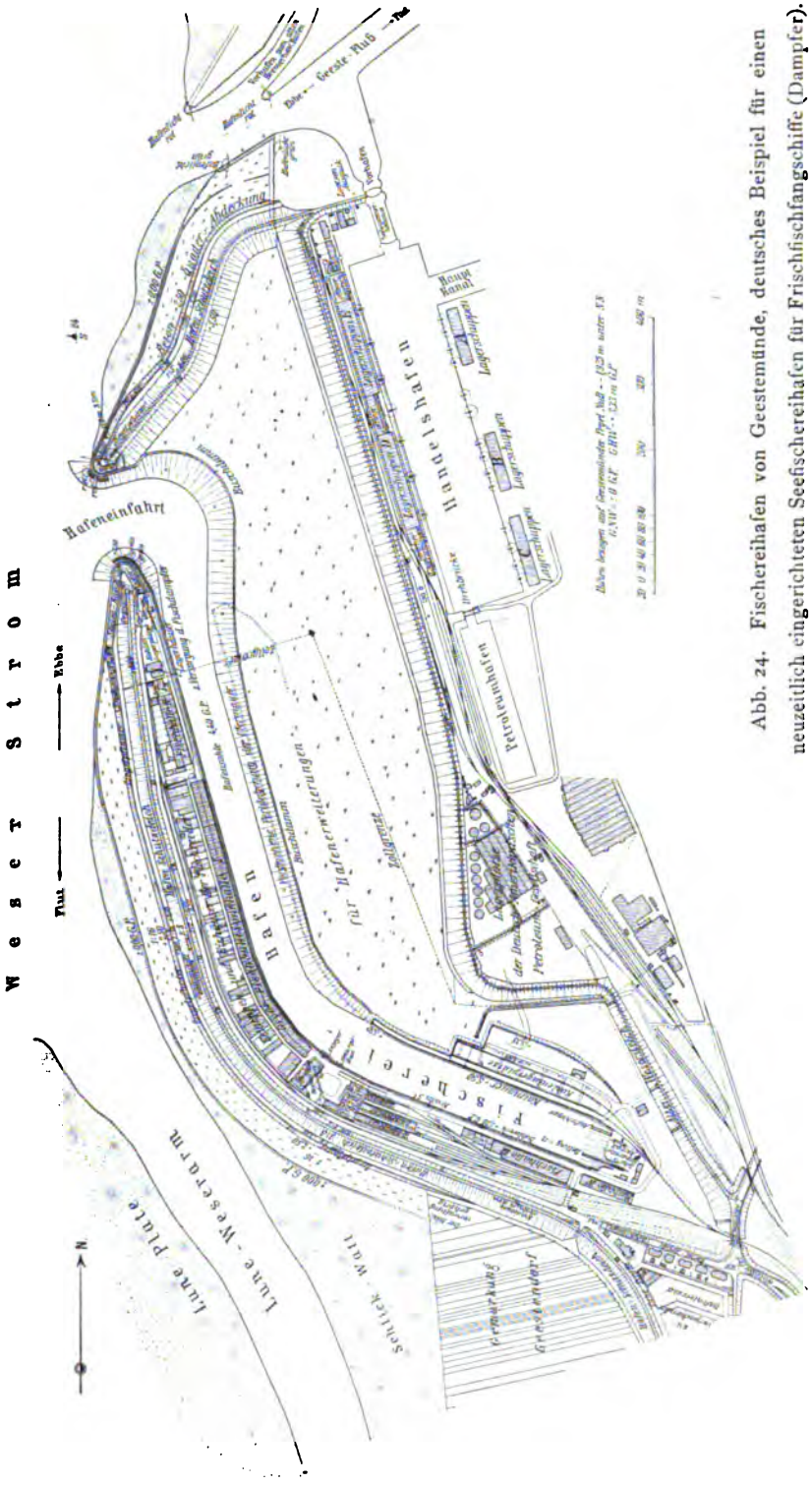


Abb. 24. Fischereihafen von Geestemünde, deutsches Beispiel für einen neuzeitlich eingerichteten Seefischereihafen für Frischfischfangschiffe (Dampfer).

schleuse das Wort reden und der Ansicht zuneigen, daß die dadurch zu erreichenden Vorteile, Fernhaltung der Sturmfluten, Sicherung der nötigen Tiefe zu allen Zeiten und Ersparnisse an Kosten für die Beseitigung des starken Schlickfalls, die Nachteile eines Zeitverlustes, der höchstens für ausgehende, aber selten für einkommende Dampfer eintreten würde, überwiegen würden. Da das Hafengelände nur auf + 5,5 über gewöhnlichem Niedrigwasser liegt, so kommt es bei den höchsten bekannten, verhältnismäßig seltenen Sturmfluten, die bis + 7,0 m über gewöhnliches Niedrigwasser ansteigen, an den tiefsten Stellen 1,5 m hoch unter Wasser; seine mittlere Breite beträgt zwischen Kaikante und Deichfuß 78 m. Bei dem Ausbau der Hafenplätze ist den oben erwähnten Anforderungen Rechnung getragen worden. Den Schwerpunkt der ganzen Anlage bilden die vier Fischpackhallen I bis IV und die große Fischversandhalle nebst Eisenbahnanschlüssen. Von den Fischpackhallen ist Nr. I am größten mit 452 m Länge und 20 m Breite; ihre dem Wasser zugekehrte, durch Schiebetore beliebig zu öffnende, vordere Hälfte wird als öffentliche Versteigerungshalle benutzt, während die landseitige Hälfte und das Dachgeschoß an die Fischhändler als Geschäfts-, Pack- und Lagerräume sowie für Netzmachereien verpachtet sind. Auf der Rückseite der großen Halle schließt zunächst eine 4,5 m breite Straße und dann eine ebenfalls an die Fischhändler vergebene Fläche an, die hauptsächlich von Eis- und Vorratshäusern in Anspruch genommen wird; auf dem noch verbleibenden Platz ziehen sich am Deichfuß entlang zwei Eisenbahngleise hin. Nach Norden zu ist auf dem Hafengelände die rund 112 m lange Fischpackhalle II und ein massives Zollhaus errichtet worden; außerhalb der hinter diesem durchlaufenden Zollgrenze befinden sich als zollfreie Niederlagen zwei Lagerhäuser zur Versorgung und Ausrüstung der Schiffe, ferner Lagerplätze für Kohlen und Gegenstände der Bauverwaltung. In der Nähe des südlichen Endes des Hafenbeckens wurden auf den früher für Kohlenlagerung vorgesehenen Plätzen, dem wachsenden Bedürfnis entsprechend und unter Verlegung der Kohlenlager auf die gegenüberliegende, mit einer Kaimauer eingefaßte Seite des Hafenbeckens, die Fischhallen III und IV errichtet, so daß zur Zeit aller nur irgend für Hallen verwendbare Raum damit bedeckt ist.

Auf die große Halle nach Süden zu folgt zunächst ein der Fischereihafen-Betriebs-Genossenschaft gehöriges Gebäude, enthaltend eine Gastwirtschaft, ein Seemannsheim, ein Heuerbureau und Räume für die Post- und Telegraphen-Verwaltung, und dann eine große Fischversandhalle nebst Güterankunftstelle, von der drei überdeckte Zungenbahnsteige von 10 m Breite und von 45 bis 90 m Länge mit beiderseitigen Eisenbahngleisen zum bequemen Verladen der Fischsendungen ausgehen. Der Versandhalle vorgelagerte Verschiebe- und Aufstellgleise gestatten die Trennung, Aufstellung und Ordnung der Wagen nach Verkehrslinien. Infolge der raschen Entwicklung des Hafens schweben verschiedene Erweiterungspläne. Über die Ausbildung der Ufer und Bauweise der Schuppen vergleiche man die diesbezüglichen Kapitel im zweiten Bande dieses Buches.

Nordenham. Gleichfalls an der Unterweser als offener Hafen angelegt ist der von der Oldenburgischen Regierung gebaute und von der deutschen

Dampffischereigesellschaft «Nordsee» gepachtete Fischereihafen Nordenham. Er besteht aus einem 5 m unter Niedrigwasser tiefen, etwa 500 m langen und 85 m breiten, von der Weser durch eine 30 m weite Öffnung zugänglichen Becken, dessen Längsseiten mit Ladebrücken und Gleisen versehen sind und auf dessen Ufern die für den Fischverkehr notwendigen Gebäude errichtet wurden.

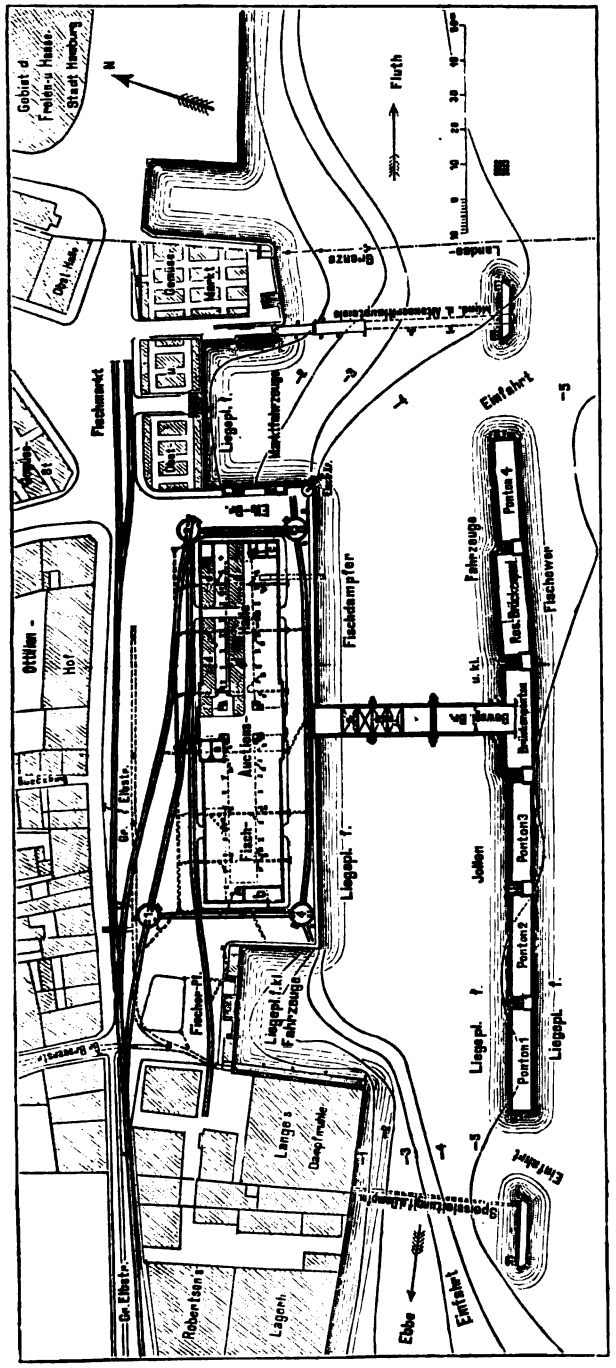


Abb. 25. Fischereihafen in Altona. Beispiel für einen Seefischereihafen für Frischfischfang.

Infolge der Benutzung durch eine einzige Handelsgesellschaft kommt bei diesem Hafen weniger das Kennzeichnende der großen Fischereihäfen, nämlich die Einrichtung eines eigentlichen Fischmarktes, wie ihn in Geestemünde die große Versteigerungshalle darstellt, zum Ausdruck.

Dagegen schließen sich die an der Unterelbe in Altona, Hamburg und Kuxhaven angelegten Fischereihäfen dem durch Geestemünde gegebenen, bewährten Beispiel mehr an.

Altona. In Altona[1]) wurde im Jahre 1896 der durch Abb. 25 im Lageplan dargestellte, unmittelbar an der Elbe belegene Fischereihafen dem Verkehr übergeben, der aus einer 60 m breiten Kaifläche und

[1]) Zentralblatt der Bauverwaltung 1896, S. 365 und S. 390; Altonas Fischereihafen und Fischmarkt 1896 von Brix und Musset, im Verlage von J. Harder in Altona.

einer davorliegenden, 54 m breiten Hafenfläche besteht. Letztere wird gegen die Elbe durch eine 200 m lange, 4 bis 8 m breite, schwimmende, aus sechs eisernen Prähmen gebildete Ladestraße abgetrennt und ist durch Lücken in den anschließenden Dalbenreihen von jeder Seite her zugänglich. Zur Verbindung der schwimmenden Ladestraße mit dem festen Kai dient eine in der Mitte angeordnete, eiserne Brücke, die aus einer festen und einer beweglichen, auf einem der Prähme ruhenden Öffnung besteht, während die Führung der Prähme durch mehrere neunpfählige Dalben erfolgt. Durch eine 103 m lange, im Mittelbau 24 m und in den Seitenflügeln 22 m breite Versteigerungshalle aus Eisenfachwerk auf dem 60 m breiten Kaiplatze, 9,5 m hinter die Uferlinie zurücktretend, wurde die ganze Anlage zu einem allen Ansprüchen entsprechenden Fischmarkt vervollständigt. An der Kaimauer finden vier Fischdampfer gleichzeitig Platz; außerdem reicht die Breite noch für eine zweite und dritte Dampferreihe aus, die über die erste hinwegladen können; auch sollen die neuerdings auch an der Elbe sich einbürgernden Heringslogger an der Kaimauer Platz zum Löschen ihrer Fänge finden. Für die kleineren Fischerfahrzeuge ist die 200 m lange, schwimmende Landungsanlage bestimmt, die auf beiden Seiten in etwa 400 m Länge Anlegeplätze darbietet. Auf der Innenseite legen die kleineren Jollen an, auf der Außenseite die größeren Ewer, die oft in sechsfacher Reihe dort Platz finden. Auch hier wurde die Kaimauerkrone etwa 1,6 m unter den höchsten Wasserständen angelegt, um für den gewöhnlichen Verkehr die Fischkörbe nicht so hoch heben zu müssen, dafür wird eine im Durchschnitt alle 600 Tage eintretende kurz andauernde Überschwemmung in Kauf genommen.

Ferner wurde die für Fischdampfer mit einem größten Tiefgang von 3,5 m bei den niedrigsten Wasserständen erforderliche Wassertiefe vor der Mauer nicht hergestellt, sondern nur etwa 0,8 m weniger, da die Fischdampfer in den sehr seltenen Fällen nicht ausreichender Tiefe an der Schwimmbrücke festmachen können, eine übrigens nicht besonders empfehlenswerte Maßregel.

In der Versteigerungshalle werden zu ebener Erde folgende Geschäfte abgewickelt: die öffentliche Versteigerung, der Verkauf der sogenannten Reiseverkäufer an Mittel- oder Kleinhändler, das Verpacken und Versenden von Fischen nach auswärts, die Niederlage und Verteilung von Eis für Fischer und Händler. In den oberen Zwischenstockwerken findet das Aufstapeln von Ausrüstungsgegenständen der Fischerfahrzeuge, das Ausbessern der Netze usw. statt.

Hamburg. In ähnlicher Weise wie Altona hat Hamburg im Jahre 1896 seine Anlagen westlich von dem alten Fischmarktplatze für den Fischverkehr verbessert, doch ist dabei weniger auf das Fischversandgeschäft Rücksicht genommen worden, da in Hamburg die angebrachten Fänge zum allergrößten Teile am Ort verbleiben.

Kuxhaven. Dagegen ist der Hamburgische Staat bestrebt, in Kuxhaven[1]) einen Fischereihafen und Fischmarkt in großem Maßstabe anzulegen, wodurch neben den allgemeinen Vorteilen auch besonders die Finkenwärder Fischer günstige Gelegenheit zur Verwertung ihrer Fänge finden und den großen Zeit-

[1]) Zentralblatt der Bauverwaltung 1907, S. 310.

aufwand für die Fahrt von Kuxhaven nach Hamburg ersparen. Wie der Lageplan (Abb. 26) zeigt, nehmen die neuen Anlagen einen Teil der Ufer des vorhandenen Fischerhafens in Anspruch. Für die Fischdampfer wird der Hafen um 1,50 m vertieft und am Ostufer mit Ladebühnen und mit einer 120 m langen Verkaufshalle mit Kontoren, Eis- und Packräumen nach Art der Geestemünder Haupthalle versehen. Südlich von der Hafenstraße findet eine Eisenbahnversandhalle mit Posteinrichtung Platz, während auf dem gegenüberliegenden Ufer Kohlenlager und Eisschuppen vorgesehen sind. Wie der Lageplan zeigt, kann die erste Anlage bedeutend erweitert werden, indem zunächst nördlich der ersten Fischpackhalle eine zweite errichtet und später die ganze Hafenanlage nach Süden ausgedehnt wird.

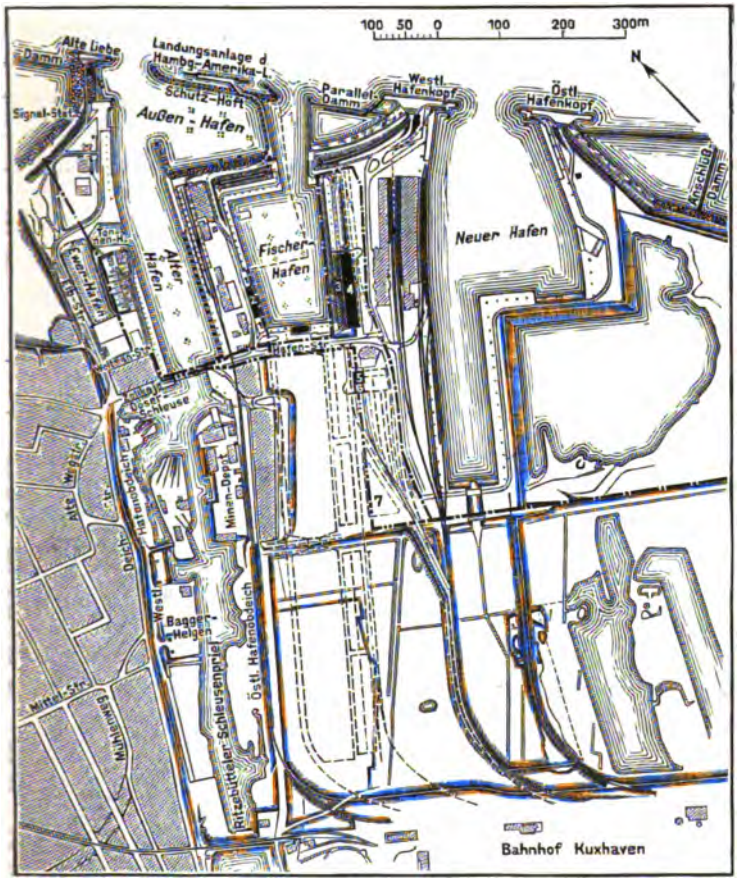


Abb. 26. Fischerei- und Handelshafen in Kuxhaven, Beispiel eines Seefischereihafens für Frischfischfang.

Wie in Deutschland hat sich auch in Holland eine vollständige Absonderung der Seefischereihäfen von den übrigen kleinen Küstenhäfen vollzogen, hauptsächlich weil die erforderliche Wassertiefe für die größeren Fangschiffe, Logger und Dampfer, in den kleinen Häfen nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohen Kosten zu beschaffen ist. Aber auch unter den Seefischereihäfen hat wiederum eine Teilung nach den verschiedenen Zweigen der Hochseefischerei nämlich in Heringshäfen und Frischfischhäfen stattgefunden, und zwar werden von den vier bedeutendsten holländischen Seefischereihäfen Vlaardingen, Maassluis und Scheveningen fast ausschließlich von

den Treibnetzschiffen, die den Heringsfang betreiben, und nur Ymuiden von den Fischdampfern aufgesucht, die mit Grundschleppnetzen dem Frischfischfang obliegen. Nur in geringer Zahl werden beide Hafengruppen auch von Angelfischern benutzt.

Von den genannten Heringsfischereihäfen ist der von Vlaardingen, ebenso wie Maassluis an der neuen Maasmündung gelegen, der bedeutendste; technisch lehrreicher ist jedoch der von Scheveningen, an der freien Küste, etwa in der Mitte zwischen der Maasmündung und Ymuiden, der Mündung des Seekanals von Amsterdam, gelegen. An dieser Stelle wurde schon während mehrerer Jahrhunderte mittels der sogenannten Bomschuiten oder Bommen

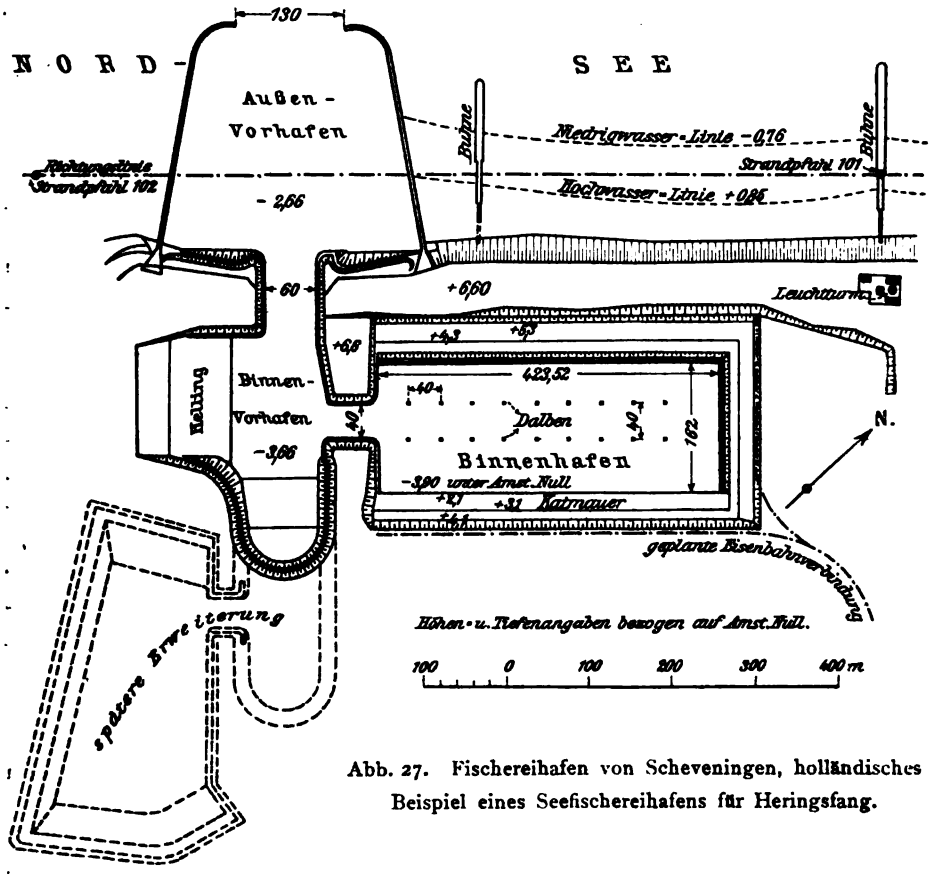


Abb. 27. Fischereihafen von Scheveningen, holländisches Beispiel eines Seefischereihafens für Heringsfang.

ohne jede Hafeneinrichtung eine bedeutende Fischerei ausgeübt, indem die mit einem flachen Boden versehenen Fahrzeuge einfach auf den Strand gesetzt wurden. Im Jahre 1905 wurde nach vielen Entwürfen und Beratungen der durch Abb. 27 (vergl. auch Abb. 19) wiedergegebene Hafen vollendet, der aus einem kleinen, von gleichgestalteten Molen eingefaßten Außenvorhafen, einem kleinen Binnenvorhafen und dem eigentlichen Binnenhafen besteht, einem rechteckigen Becken von 420 m Länge und 162 m Breite. Wie die gestrichelten Linien andeuten, ist Möglichkeit einer Erweiterung nach Süden ins Auge gefaßt,

sei ist aber auch im Anschluß an den jetzigen Binnenhafen möglich.[1]) Aus Landesverteidigungsrücksichten ist in dem Vorhafen nur eine Tiefe von rund 1,90 m unter gewöhnlichem Niedrigwasser oder 3,50 m bei gewöhnlichem Hochwasser zugelassen worden, so daß der Hafen zwar jederzeit von den Bommen, aber nur bei Flut und Hochwasser von Loggern aufgesucht werden kann.

Im Binnenvorhafen wird 2,90 m Tiefe unter gewöhnlichem Niedrigwasser gehalten und im Binnenhafen eine solche von 3,14 m, damit die Schiffe nach Belieben verholen können.

Mit Rücksicht auf die immer zahlreicher den Hafen aufsuchenden Logger, zu denen sich voraussichtlich auch bald Zubringerdampfschiffe gesellen werden, wird die künstliche Beschränkung der Einfahrtstiefe auf die Dauer nicht aufrecht erhalten werden können. Bei der Benutzung des Hafens erfolgt das Löschen der Fänge an der südlichen Kaimauer auf den dahinterliegenden ausgedehnten Kaiflächen, dagegen die Ausrüstung der Schiffe auf der gegenüberliegenden, mit einem Böschungspflaster und einer hölzernen Ladebrücke versehenen Seite. Ein ausgedehnter Helling im Vorhafen und zwei Dalbenreihen mit 40 m gegenseitigem Abstand zum Festmachen der Schiffe in Winterszeiten vervollständigen die einfache Ausstattung des Hafens (vergl. Abb. 19).

Ymuiden. Ähnlich schnell wie Geestemünde hat sich der einzige große Frischfischereihafen Hollands, Ymuiden, in den letzten Jahrzehnten ent-

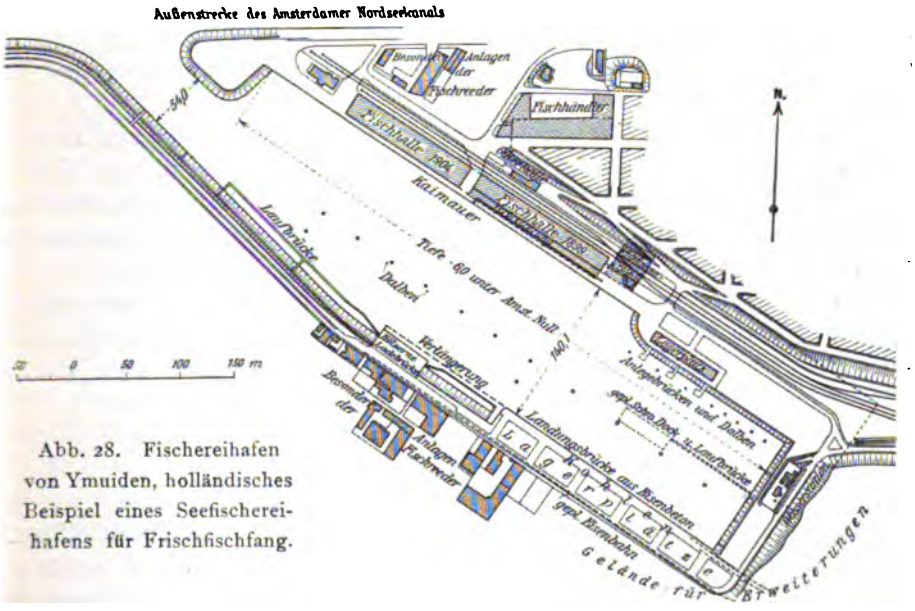


Abb. 28. Fischereihafen von Ymuiden, holländisches Beispiel eines Seefischereihafens für Frischfischfang.

wickelt. Durch seine günstige Lage inmitten der schutzlosen Küste wurde die von den Molen eingeschlossene Reede und der Außenkanal bis zu der Seeschleuse ein willkommener, bei jeder Witterung und jedem Wasserstande leicht zugänglicher Zufluchtshafen, für dessen Entwicklung zu einem bedeutenden Frischfischereihafen außerdem die Nähe reicher Fischgründe und das Vorhandensein

[1]) Vergl. De Ingenieur 1909, Nr. 4, S. 83.

leistungsfähiger Verkehrswege für den Fischversand von ausschlaggebender Bedeutung waren. Diese Umstände führten zur Anlage eines besonderen Fischereihafens am Südufer des Außenkanals, der im Jahre 1896 als Zufluchts-Segelfischereihafen eröffnet wurde. Infolge des zunehmenden Fischdampferverkehrs wurde von 1901 ab seine Länge auf 600 m bei 110 bis 150 m Breite vergrößert und ihm die durch Abb. 28 im Lageplan dargestellte Gestalt gegeben; gleichzeitig wurde die Wassertiefe durch Baggerungen bis auf 5,20 m unter gewöhnlichem Niedrigwasser vermehrt. Die Ausstattung des Hafens besteht an dem Nordostufer aus einer 400 m langen Kaimauer, an der das Löschen und Versteigern der Fänge in zwei Hallen von 145 bezw. 130 m Länge und rund 24 m Breite erfolgt. In den Hallen wird der vordere Teil für Versteigerungszwecke und der hintere als Packraum benutzt, zwischen beiden wird ein etwa 5 m breiter Verkehrsgang freigehalten. In den oberen Stockwerken sind, wie bei den deutschen Beispielen, Geschäftsräume untergebracht. Hinter den Hallen ermöglichen Eisenbahngleise den schnellen Versand der frischen Fische. An dem gegenüberliegenden Ufer findet an einem aus Eisenbeton hergestellten Landungssteg[1]) die Versorgung der Schiffe mit Kohlen, Eis, Lebensmitteln usw. statt; auch diese Seite ist mit Eisenbahnanschluß versehen. Endlich gestatten eine Anzahl von Dalben das Festmachen der den Hafen als Zuflucht oder zur Winterlage aufsuchenden Schiffe.

Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Beispielen sind die größten englischen Seefischereihäfen[2]) für den Frischfischfang Great Grinsby und Hull, beide am Humber gelegen, als geschlossene Häfen angelegt, dagegen die für den Heringsfang bedeutendsten Häfen Great-Yarmouth am Yare-Fluß und Lowestoft wieder offen.

Da die englische Hochseefischerei auf eine jahrhundertelange Entwicklung zurückblicken kann und besonders die Dampferfischerei von England ihren Ausgang genommen hat, haben die englischen Anlagen bei der Ausbildung der näher beschriebenen deutschen und holländischen Häfen vielfach als Vorbild gedient, so daß es sich erübrigt, hier darauf einzugehen.

Von den wichtigsten schottischen Häfen seien nur die bedeutendsten, wie Fraserburgh und Peterhead an der Nordostspitze von Schottland, Aberdeen am Flusse Dee und Eyemouth an der Mündung des Flüßchens Eye erwähnt; alle diese sind wieder als offene, jederzeit zugängliche Häfen angelegt.

Kapitel IV.

Besondere Erfordernisse und kennzeichnende Beispiele für Handelshäfen.

Allgemeines über die Bedeutung der Lage. — Binnenseehäfen. — Anlaufhäfen. — Technisch vollkommene Betriebseinrichtungen, Schleusen, Lösch- und Ladeeinrichtungen. — Leistungsfähige Binnenverkehrswege, innige Verbindung mit den Hafenanlagen. — Trennung verschiedener Verkehrsarten. — Reisendenverkehr. — Feuergefährliche Gegenstände, Petroleum. — Schiffs-, Bau- und Ausbesserungsanlagen.

---

[1]) Handbuch für Eisenbetonbau. Zweite Auflage. IV. Band. Wasserbau. S. 120. Berlin 1910. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn.

[2]) Zeitschrift für Bauwesen 1887, S. 454; Tolle, Die Nordseefischerei und die Fischerhäfen an der Nordsee.

— Schwerlastkran. — Großgewerbehäfen. — Vorhandensein aller Handelsbeziehungen. — Einfache Verwaltungseinrichtungen. — Freihäfen, Freibezirke, zollfreie Niederlagen. — Zusammenfassung.

Kennzeichnende Beispiele für Handelshäfen: Stettin, Danzig (Neufahrwasser), Königsberg, Lübeck, Emden, Harburg, Bremen, Bremerhaven, Hamburg, Kuxhaven, Rotterdam, Antwerpen, Zeebrügge und Brügge, London, Liverpool, Manchester, Havre, Marseille, Genua, Triest, Neuyork.

Allgemeines über die Bedeutung der Lage. Zu den bereits im vorigen Kapitel erörterten allgemeinen Erfordernissen in physikalischer und technischer Beziehung, zu denen das Vorhandensein einer jederzeit bei Tage und bei Nacht bequem zugänglichen Einfahrt mit beständigen, ausreichenden Tiefenverhältnissen, einer günstigen Lage an tiefem Wasser, einer ausgedehnten, geschützten Reede mit gutem Ankergrund und von sicheren, leicht zugänglichen, mit steilen Ufern ausgestatteten Liegeplätzen und Hafenbecken zu rechnen ist, gehören zu einem guten Hafen noch eine Anzahl von besonderen Bedingungen, um ihn zu einem guten Handelshafen zu machen.

In Betracht kommt hierfür namentlich das Bestehen zahlreicher leistungsfähiger Verbindungen nach dem Innern des Landes durch Landstraßen und Eisenbahnen, durch Flüsse und Kanäle und die Nähe einer handeltreibenden, dichtbevölkerten Industriegegend mit reichen Bodenschätzen, wo die Güterarten, welche die größten und zahlreichsten Schiffsladungen ergeben, wie Kohlen, Erz, Getreide, Düngemittel usw., Gegenstand eines regelmäßigen Austausches bilden und hinreichenden Absatz finden. Von weiterer Bedeutung ist sodann eine möglichst vollkommene Ausrüstung und einfache, nach kaufmännischen Gesichtspunkten geleitete Verwaltung, um den Handel möglichst zu erleichtern und dem Lande die Waren mit größter Schnelligkeit und mit den geringsten Kosten zuzuführen.

Bei dem Vergleich der Entwicklung verschiedener Häfen und der Untersuchung der Ursachen des Emporblühens der einen und des Rückganges der anderen, wird man finden, daß die lebhafteste Entwicklung häufig nicht in den unmittelbar an den Küsten des Meeres gelegenen Häfen, also den von Natur in physikalischer und technischer Beziehung begünstigten Orten stattgefunden hat, sondern vielmehr in oft weit binnenwärts gelegenen Häfen, wie viele Beispiele bei uns und im Auslande zeigen, in Deutschland Kuxhaven, Bremerhaven, Swinemünde und Pillau im Vergleich mit Hamburg, Bremen, Stettin und Königsberg, im Auslande Cherbourg, Brest, Havre, Boulogne, Calais, Dünkirchen, Ostende, Vlissingen, Greenock im Gegensatz zu Rouen, Gent, Antwerpen, Rotterdam und Amsterdam.

Als Ursache für den Rückgang der genannten Küstenhäfen kann das völlige oder teilweise Fehlen der oben erwähnten Bedingungen festgestellt werden, während ihr Vorhandensein den im Binnenlande gelegenen Häfen zu ihrem Hochkommen verhalf. Hierbei spielt auch die Entwicklung der Seeschiffahrt und des Schiffbaues eine mitwirkende Rolle; solange im wesentlichen Segelschiffahrt getrieben wurde, erlangten die Küstenhäfen den Vorzug, da sie die Fahrtdauer abkürzten und die zeitraubende, wegen der Strömungen und Enge in den Zufahrtstraßen beschwerliche und gefährliche Fahrt nach den

Binnenhäfen hinauf entbehrlich machten; mit dem Verschwinden der Segler und der Vervollkommnung der Dampfschiffe stellte sich heraus, daß bei weiten Reisen die Frachtkosten keine Vermehrung erfahren, wenn die Waren auf einer gut eingerichteten Wasserstraße oft 100 km landeinwärts gebracht und in einem vollkommen ausgerüsteten Hafen schnell gelöscht werden, da dadurch bedeutende Summen für die auf der gleichen Strecke sonst erforderliche Landfracht erspart werden.

Binnenseehäfen. In der Tat findet man, daß mit wenigen Ausnahmen die größten Häfen der Welt im Binnenlande liegen — sogenannte Binnenseehäfen sind —, wie Hamburg, Bremen, London, Liverpool, Manchester, Antwerpen, Rotterdam usw.; bezüglich der Ausnahmen sei auf Neuyork, Marseille und Genua hingewiesen. Für die Entwicklung und Zukunft der Binnenseehäfen ist außer der Erfüllung der bereits erwähnten Bedingungen das Vorhandensein und die leichte Unterhaltung einer bequemen, ausreichend tiefen Zufahrtstraße, sei es nun der Unterlauf eines Stromes oder ein künstlich hergestellter Seekanal, eine Lebensfrage von ausschlaggebender Bedeutung. Zur zeitgemäßen, den heutigen Fortschritten des Schiffbaues entsprechenden Erhaltung und Vergrößerung der Tiefe in den Zufahrtstraßen sind die Binnenseehäfen, um ihre Stellung im Weltverkehr zu behaupten, unter Aufwendung bedeutender Mittel gezwungen, die größten Anstrengungen zu machen, wie weiterhin in einzelnen Beispielen des näheren ausgeführt werden wird.

Anlaufhäfen. Während einerseits den meisten Küstenhäfen bei der Bewältigung des Massengüterverkehrs aus den erwähnten Gründen eine untergeordnetere Rolle zugefallen ist, hat ihnen anderseits die Einrichtung und Entwicklung der großen Passagierdampferlinien mit immer größer werdenden Schiffen erneute Bedeutung als Anlaufhäfen für den regelmäßigen Verkehr von Reisenden sowie für die beschleunigte Beförderung kleinerer Mengen wertvoller Güter verschafft. Da die Erfordernisse dieser Häfen, die unmittelbare Belegenheit an zur Zeit 10 bis 12 m, später vielleicht bis 15 m tiefem Wasser, jederzeitige leichte Zugänglichkeit und die Möglichkeit, an Kais festzumachen, die unmittelbar am tiefen Wasser liegen und das Überladen von Personen und Gütern in kürzester Frist gestatten, in den durch lange Zufahrten zugänglichen Binnenseehäfen nicht oder nur sehr selten erfüllt werden können, so vermögen die Küstenhäfen in dieser Beziehung mit den Binnenhäfen in erfolgreichen Wettbewerb zu treten. In diesen Umständen findet die neuere Entwicklung von Kuxhaven, Bremerhaven, Cherbourg, Boulogne, Havre und die Anlage neuer Küstenhäfen, wie Dover und besonders Zeebrügge, seine Begründung. Zur guten Ausstattung derartiger Häfen gehört ferner die Ausrüstung der Kais mit Schuppen und Kranen zur Aufbewahrung und leichten Handhabung der Güter und mit Gleisen und den zugehörigen Gebäuden für den Aufenthalt und die Abfertigung der Reisenden, sowie die Anlage von Anstalten zur Besichtigung der Schiffe und zur Vornahme kleinerer Ausbesserungen.

Technisch vollkommene Betriebseinrichtungen, Schleusen, Lösch- und Ladeeinrichtungen. Außer den geschilderten, für das Gedeihen eines Handelshafens günstigen Umständen ist eine möglichst vollkommene Ausrüstung eine wichtige Grundbedingung. Hierzu gehört zunächst die Aus-

bildung der Zufahrtstraße. Je weniger Hindernisse bei der Einfahrt in einem Hafen an Schleusen und Brücken zu durchfahren sind, um so geringer wird der Zeitaufwand für das Aufsuchen des Hafens, der besonders bei den Dampfern einen erheblichen Geldgewinn darstellt. Daher müssen die genannten Kunstbauten an Zahl möglichst verringert werden und, soweit sie nicht entbehrlich sind, in ihren Abmessungen und Betriebseinrichtungen so vollkommen als möglich angelegt werden, um unnötigen Zeitaufwand zu vermeiden. Feste Brücken sollten an den Zufahrtstraßen der großen Häfen möglichst ganz vermieden und die notwendigen Schleusen recht reichlich bemessen und mit maschinellen Betriebsvorrichtungen versehen werden. In dieser Beziehung sind die unmittelbar an großen Strömen gelegenen offenen Häfen wie Hamburg Lissabon, Neuyork usw., günstiger gestellt als die Dockhäfen, wie London, Liverpool usw., da bei ihnen die kostspieligen und zeitraubenden Schleusen fortfallen. Dazu kommt noch, daß in den offenen Häfen die Schiffe häufig mit eigener Kraft ihre Liegeplätze erreichen und verlassen können, während sie in geschlossenen Hafenbecken bei allen Bewegungen der Hilfe von Schleppern bedürfen.

Von wesentlichster Bedeutung für die Entwicklung eines Handelshafens sind die eigentlichen technischen Betriebseinrichtungen für das schnelle und billige Abfertigen der Waren und der Reisenden. Ein Hafen ist gewissermaßen die Maschine zur Vermittlung des Übergangs der Güter von den Landverkehrsstraßen auf die Seewege; je besser und vollkommener sie eingerichtet und betrieben wird, um so wirtschaftlicher und schneller wird sie die gestellten Aufgaben bewältigen.

Besonders die Schnelligkeit des Ladens und Löschens spielt bei der wirtschaftlichen Ausnutzung der heutigen großen Schiffe eine wichtige Rolle. Bei den großen Summen, die in den Dampfern angelegt sind, und die ihr Betrieb täglich verursacht, kommt es darauf an, die Liegezeiten so kurz als möglich zu machen, damit die Schiffe möglichst viele Reisen ausführen können, denn nur dabei verdienen sie und erfüllen sie ihre Bestimmung. Je schneller die Schiffe abgefertigt werden, umso mehr Schiffe können mit den gleichen Einrichtungen ohne wesentlich höhere Ausgaben bedient werden, wodurch für den Handel wiederum dadurch Vorteile entstehen, daß die Tarife und Gebühren geringer bemessen werden können.

Bei der Erfüllung dieser Aufgaben wirkt die zweckmäßige Gestaltung der Hafenbecken mit, indem sie den Schiffen durch einfache, wenig zeitraubende Manöver das Erreichen und Verlassen ihrer Liegeplätze ermöglicht, wie es z. B. bei den zungenförmigen, gegen die Zufahrtstraßen geneigt angeordneten Becken in Hamburg, Bremen, Antwerpen, Rotterdam, Manchester usw. der Fall ist. Hinter den Uferlinien müssen sich ferner genügend breite, etwa 70 bis 150 m ausgedehnte Landflächen anschließen, um die Waren übersichtlich ausbreiten und Anhäufungen vermeiden zu können. Diese Kaiflächen müssen um so ausgedehnter sein, je mehr es sich um Güter handelt, die einige Zeit lagern sollen. Je nach ihrer Beschaffenheit werden die Waren entweder in offenen oder gedeckten Niederlagen aufgestapelt oder in bedeckten Räumen, Schuppen oder Speichern, untergebracht. Zur leichten

Handhabung der Waren müssen schnell und billig arbeitende Krane und in genügender Zahl vorgesehen werden.

Leistungsfähige Binnenverkehrswege, innige Verbindung mit den Hafenanlagen. Zum Emporblühen eines Handelshafens muß einerseits ein großes reiches Hinterland seine Erzeugnisse nach dem Hafen zusammenströmen lassen, anderseits muß es aufnahmefähig für die von den Seeschiffen herangebrachten Güter sein. Zur Verbindung des Hafens mit dem Hinterlande sind daher gut ausgerüstete Binnenverkehrswege wie Wasserstraßen für die billige Massenbeförderung schwerer und geringwertiger Güter und strahlenförmig nach dem Hafen zusammenlaufende Eisenbahnlinien für wertvollere Güter von größter Wichtigkeit.

Für eine schnelle Abwicklung des Verkehrs ist ferner die leichte Zugänglichkeit aller Hafenteile durch die Binnenverkehrsstraßen von hohem Wert, sie müssen so an die Ufer herangeführt werden, daß eine innige Verbindung mit den Schiffen hergestellt werden kann. Bei der Anordnung von Eisenbahngleisen muß danach gestrebt werden, den Verkehr durch lange, zusammenhängende Wagenreihen zu bewirken. Zu dem Zweck müssen die Hafenbecken so angeordnet werden, daß möglichst alle Verbindungen durch Weichen unter Innehaltung der kleinsten zulässigen Krümmungshalbmesser unter tunlichster Beschränkung der Anwendung von Drehscheiben und Schiebebühnen erfolgen können. Für die nötige Anzahl der Gleise für Verkehrs- und Aufstellungszwecke, für Durchlauf-, Auszieh- und Krangleise, sowie ihre Heranführung an die Lageplätze, Schuppen und Speicher ist Sorge zu tragen; ferner soll die Anordnung der Gleise den jeweiligen Aufgaben entsprechend gestaltet werden. So wird die Gleisanordnung in reinen Warenhäfen eine andere als in Erz- und Kohlenhäfen usw. sein. Oft kommen in wichtigen Häfen auf 1 km Kailänge 10 bis 20 km Gleislänge. In größeren Häfen ist ferner die Anlage besonderer Hafenbahnhöfe für die Sammlung und Ordnung der Wagen vor der Zustellung an die verschiedenen Kais und Schuppen oder zur Vereinigung der abgefertigten Wagen zu Zügen erforderlich. Für die Ab- und Anfuhr von Gütern auf Landstraßen müssen ausreichend breite, gepflasterte Straßen mit geringer Steigung an die Ufer, Schuppen und Speicher herangeleitet werden; zur innigeren Verbindung werden sie häufig in die Gebäude hineingeführt. Durch Anlage von Wendeplätzen ist für leichte Umkehr der Wagen zu sorgen.

In ähnlicher Weise muß in Häfen, die mit Binnenwasserstraßen in Verbindung stehen, für den bequemen Übergang der Güter von den Binnenschiffen unmittelbar auf die Seeschiffe oder zunächst auf Land und umgekehrt gerechnet werden. In solchen Häfen machen die Seeschiffe für die unmittelbare Überladung in Binnenschiffe an Dalbenreihen fest, so daß die Binnenfahrzeuge zu beiden Seiten in größerer Zahl liegen können. In gleicher Weise erfolgt das Über- oder Entladen von Hölzern, indem sie in Flößen herangebracht oder fortgeführt werden. Zu beachten ist für diejenigen Hafenteile, in denen ein derartiger Verkehr abgewickelt wird, daß sie möglichst geschützt gegen Wellenschlag und Strömung liegen. Bisweilen erfolgt das Überladen der Waren in die Binnenfahrzeuge erst nach vorheriger Lagerung und Behandlung in

Schuppen; dann kann es sich empfehlen, an der Rückseite der Kaiflächen besondere flache Binnenschiffbecken anzuordnen, wodurch der Vorteil erreicht wird, daß die Hauptbecken und Kais für die Seeschiffe freibleiben. Bei lebhafter Binnenschiffahrt ist auch für die Ansammlung der auf Ladung wartenden oder überwinternden Binnenfahrzeuge die Anlage besonderer Binnenhafenbecken in möglichster Nähe der Seehafenbecken und mit bequemen Verbindungen zu diesen zweckmäßig (vergl. als Beispiel Hamburg).

Je nachdem in einzelnen Häfen bestimmte Binnenverkehrsstraßen vorherrschen, erhalten sie nach vorstehendem eine besondere Ausstattung und dadurch ein besonderes Gepräge ihrer äußeren Erscheinung; so bilden Hamburg und Rotterdam hervorragende Beispiele für Häfen, deren Güter nach und vom Binnenlande überwiegend auf dem Wassewege — der Elbe bezw. dem Rhein — befördert werden; dagegen sind Bremen und Antwerpen Häfen, bei denen die Eisenbahn-Zu- und Abfuhr vorherrschend und dementsprechend die Ausbildung des Eisenbahnetzes eine sehr vollkommene ist, und endlich bietet ein großer Teil des Hafens von Neuyork ein Beispiel, bei dem im wesentlichen An- und Abfahrt der Güter durch Landfuhrwerke stattfindet. Besonders ausgesprochen ist ferner die Eisenbahnzufuhr in den Kohlenhäfen von Cardiff, Barry, Tinemouth. Das Vorherrschen einer bestimmten Art der Binnenverkehrsstraßen drückt sich schon bei dem Anblicken des Lageplans dieser Häfen aus. In Hamburg und Rotterdam z. B. findet man sowohl auf dem Strom, als auch in dem breiten Hafenbecken zahlreiche Dalbenreihen, an denen die Seeschiffe, umgeben von Binnenfahrzeugen, liegen; in Bremen und Antwerpen z. B. sind die Hafenbecken und Kais verhältnismäßig schmal und zungenförmig angeordnet und so gestaltet, besonders in Antwerpen, ebenso auch in Gent, Manchester, daß Eisenbahn und Kai in möglichst innige, durch Weichen in einfacher Weise zugängliche Berührung kommen. Es kommt in den Lageplänen dieser Häfen besonders das fingerförmige Ineinandergreifen von Wasserflächen und Landzungen, Hafenbecken und Kaiflächen zum Ausdruck.

Trennung verschiedener Verkehrsarten. Zur Erleichterung des Verkehrs trägt es ferner bei, wenn in größeren Häfen eine Einteilung nach verschiedenen Verkehrsarten, z. B. für Ein- bezw. Ausfuhr oder nach verschiedenen Warengattungen vorgenommen wird und jedem Teil, sei es nun ein einzelner Kai, sei es ein einzelnes oder eine Gruppe von Hafenbecken, die für den besonderen Zweck und die örtlichen Handelsgewohnheiten geeignete Ausstattung gegeben wird. Es wird dadurch die schnelle Abwicklung aller Handhabungen, die Übersicht und das Zollgeschäft wesentlich gefördert.

Reisendenverkehr. Hierzu gehört auch die Absonderung der Anlagen für den Reisendenverkehr, die aus jederzeit zugänglichen festen Kais oder beweglichen Landungsanlagen bestehen und in unmittelbarer Verbindung mit den großen Eisenbahnlinien sich befinden müssen, für die bei besonders lebhaftem Verkehr, z. B. zwischen England und dem Festlande, besondere Seebahnhöfe unmittelbar vor der Dampferabfahrtstelle angelegt werden. Bei starkem Auswandererverkehr sind ferner besondere Abfertigungs- und Unterbringungsräume für die Auswanderer nebst Desinfektionsanstalten erforderlich. Alle dem Reisendenverkehr dienenden Anlagen müssen immer unter dem Ge-

sichtspunkt leichtester Abwicklung des Verkehrs und kürzesten Aufenthalts entworfen werden.

Feuergefährliche Gegenstände. Petroleum. In einem besonderen, möglichst abgelegenen und abtrennbaren Teil des Hafens sind ferner für feuergefährlichen Gegenstände, namentlich Petroleum, besondere Einrichtungen zu schaffen.

Schiffsbau- und Ausbesserungsanlagen. Zur Vervollständigung der Hafeneinrichtungen sind ferner ebenfalls an gesonderter, aber leicht zugänglicher Stelle Anlagen zur Besichtigung und Ausbesserung der Schiffe vorzusehen, um nach langen Reisen oder nach Havarien den Zustand der Schiffe schnell prüfen und den Anstrich und Schäden ohne Zeitverlust beseitigen zu können. Hierzu dienen Schwimm- und Trockendocks verschiedener Abmessungen, Aufschleppen und Hellinge, Werkstätten und Ausrüstungskais (Näheres hierüber befindet sich im zweiten Bande).

Schwerlastkran. Infolge der bisweilen eintretenden Notwendigkeit, außergewöhnlich schwere Lasten zu heben, gehört ein am tiefen Wasser liegender Schwerlastkran von 150 bis 200 t Tragfähigkeit mit Eisenbahnanschluß zum unentbehrlichen Ausstattungsstück eines großen Hafens.

Großgewerbe- oder Industriehäfen. In neuerer Zeit wird in den großen Häfen besonderer Wert auf die Entwicklung und Ansiedlung aller Arten von Großgewerben (Industrien) gelegt. Für diese ist ein Hafenort als Endpunkt der großen Weltverkehrslinien, der Seewege und Landwege, besonders günstig gelegen, da er sowohl bei der Ein- als auch bei der Ausfuhr die Beförderungskosten auf ein Mindestmaß herabdrückt. Hierzu gehören außer Schiffswerften besonders die Industrien, von denen die erste Bearbeitung angekommener Rohstoffe vor der Versendung ins Binnenland vorgenommen wird, wie Hochöfen, Stahlwerke, chemische und Düngerfabriken, Ziegeleien, Preßkohlen- und Holzbearbeitungsfabriken, Petroleum- und Zuckerreinigung sanstalten, Holz- und Kohlenlager u. a. m. Derartige Anlagen sind infolge Heranziehung großer Gütermengen für die Entwicklung eines Handelshafens stets günstig, indem sie den Verkehr steigern, die allgemeinen Unkosten verringern und erhöhten Verbrauch an Bedarfsgegenständen hervorrufen; daher werden neuerdings den großen Häfen besondere Teile für diese Zwecke — sogenannte Großgewerbe- oder Industriehäfen — angegliedert. In Deutschland ist dies in ausgedehntestem Maße in Harburg, ferner auch in Bremen, Hamburg, Emden, Lübeck usw. geschehen und ebenso auch im Auslande in vielen Häfen ausgeführt und geplant.

Vorhandensein alter Handelsbeziehungen. Allein die technisch vollkommene Einrichtung eines Hafens genügt noch nicht, um ihn zu einem blühenden Handelshafen zu machen Es müssen noch gewisse Umstände hinzukommen, die zum Teil schwer künstlich zu erlangen sind. Dazu gehört das Vorhandensein alter, gewohnter Handelswege, eines alteingesessenen, geldkräftigen Kaufmannsstandes, das Bestehen großer Reedereien, die zahlreiche und regelmäßige Schifffahrtslinien betreiben. So besitzt z. B. Hamburg den Vorzug, Hauptsitz einiger der größten Reedereien der Welt zu sein, wie der Hamburg-Amerika-Linie, der Hamburg-Südamerika-Linie, der Deutschen Ostafrika-Linie u. a. m. So erhalten

Bremen und Bremerhaven ihre Hauptbedeutung durch den Verkehr des Norddeutschen Lloyd. Bei der Ausgestaltung von großen Häfen empfiehlt es sich daher, auf die besonderen Bedürfnisse großer Handelsgesellschaften Rücksicht zu nehmen, um sie an den Ort zu fesseln und ihr Gedeihen zu fördern, wie es in Hamburg und Bremen z. B. durch Schaffung besonderer Hafenteile für einzelne Reedereien allein geschehen ist.

Vom Handel werden derartige Häfen bevorzugt, wo häufige Verbindungen nach allen Weltgegenden vorhanden sind, wo daher die Beförderung schnell und billig erfolgt. Ebenso wie nach Plätzen, wo gute Versandbedingungen sind, die Waren aus allen Richtungen zusammenströmen, so bevorzugen wiederum die Seeschiffe diese Orte, weil in ihnen schnell volle und wertvolle Ladungen erhalten werden; die Frachtkosten können dann geringer bemessen werden, als wenn die Schiffe lange auf Ladung warten oder zu ihrer Vervollständigung mehrere Häfen aufsuchen müssen. Den gleichen Einfluß spielt bei der Festsetzung der Beförderungkosten das Vorhandensein von Rückfracht; solche Häfen, wo diese mit Sicherheit zu erwarten ist, werden mit Vorliebe aufgesucht, da die Schiffe dann auf der Hin- und Rückreise verdienen und daher zu geringeren Preisen befördern können.

Einfache Verwaltungseinrichtungen. Zur Förderung des Hafenverkehrs tragen sachgemäße Verwaltungsmaßnahmen bei, die den Verkehr zwischen den Kapitänen und Hafenbeamten, Lotsen usw., zwischen den Reedern und Zollbehörden zu einem einfachen, wenig zeitraubenden gestalten, so daß die Schiffe sofort nach ihrer Ankunft am Kai mit Laden oder Löschen beginnen können oder nach Beendigung der Arbeit zur Abfahrt frei sind.

In dieser Hinsicht hat sich eine Trennung der zollpflichtigen Güter in solche, die sogleich nach der Ankunft verzollt werden und in das Binnenland abgehen, und in solche, die zunächst gelagert werden und dann, je nach der Konjunktur, nach und nach verzollt in das Binnenland gelangen oder auch ohne Verzollung nach anderen Ländern wieder ausgeführt werden vollzogen. Hierbei können die Waren auch zum Teil bearbeitet, umgepackt, gemischt oder getrennt oder sonst in eine für den Handel gangbare Form gebracht werden.

Freihäfen, Freibezirke, zollfreie Niederlagen. Zur Erleichterung dieses Verfahrens werden in neuerer Zeit sogenannte Freihäfen, Freibezirke und Freilager bezw. zollfreie Niederlagen eingerichtet, die für den freien Verkehr ohne Zollverpflichtungen bestimmt sind. Diese Freigebiete sind durch hohe, feste oder schwimmende Zäune usw. mit «zollsicheren» an ihrem Umfange und besonders an den Eingängen ständig bewachten Schranken umgeben und gelten zollamtlich als «Zollausland»; in diese abgegrenzten Flächen unter Zollbewachung eingelaufene Schiffe können ungehindert durch Zollbestimmungen löschen und laden, da diese Hafenteile bezüglich der Zollgesetze gewissermaßen als im Auslande befindlich betrachtet werden.

Man nennt nun Freihäfen solche abgeschlossenen Hafenteile, in denen auch eine Bearbeitung und Umformung der angekommenen Güter in gewissem Umfange stattfindet und auch die Ansiedlung von Industrien zulässig ist, Freibezirke solche Hafengebiete, die nur Lagerungszwecken dienen und

Freiläger und zollfreie Niederlagen kleinere abgegrenzte Lager oder unter Zollverschluß gehaltene Gebäude, Schuppen oder Speicher, die von den Vorzügen des freien Verkehrs Gebrauch machen. Solche Freibezirke sind in Deutschland in fast allen größeren Häfen als bewährte Einrichtung anzutreffen, in England sind sie meist mit dem Begriff eines Docks vereinigt, in Frankreich nennt man sie Entrepot. Überall wirken sie infolge der dadurch geschaffenen Zollerleichterungen günstig auf die Heranziehung großer Warenmengen zur Lagerung und zum Austausch, da sie dem Kaufmann eine gewisse Bewegungsfreiheit und Unabhängigkeit in der Wahrnehmung der kaufmännischen Vorteile des Großhandels, in der Lagerung und Verarbeitung der Waren gewähren.

Zusammenfassung. Vorstehende Ausführungen lassen erkennen, wie zahlreichen Bedingungen auf den verschiedensten Gebieten genügt werden muß, um einem Handelshafen zum Gedeihen zu verhelfen, wie neben den in den meisten Fällen erfüllbaren technischen Anforderungen und den Vorzügen in der geographischen und physikalischen Natur des Ortes verkehrs- und handelspolitische Gesichtspunkte und geschickte Verwaltungsmaßnahmen für die Entwicklung eines Handelshafens von ausschlagebender Bedeutung sind. Oft sind nicht alle Bedingungen in mustergültiger Weise zu erfüllen, wenn auf vorhandene Einrichtungen und alte Gewohnheiten Rücksicht genommen werden muß; es darf hierbei aber nie außer Acht gelassen werden, daß halbe Maßregeln auch nur halbe Wirkungen haben und daß ein Handelshafen eine große Handelsanstalt ist, die umsomehr den Verkehr anzieht, je vollkommener sie ausgestattet ist und je schneller und billiger sie, geleitet nach kaufmännischen Gesichtspunkten, arbeitet.

So verschieden die örtlichen Verhältnisse in den einzelnen Häfen sind, so verschiedene Verkehrsverhältnisse in jedem Falle vorliegen, so schwierig ist es auch, für die Anlage eines Handelshafens bestimmte Regeln und Gesetze aufzustellen. Bei der Bearbeitung eines bestimmten Entwurfes wird die Kenntnis und Beachtung der in diesem und dem vorigen Kapitel gegebenen allgemeinen und besonderen Erfordernisse und das Studium ihrer Anwendung auf bewährte Beispiele unter Berücksichtigung der im gegebenen Falle zu erfüllenden, besonderen Anforderungen und örtlichen Verhältnisse zu brauchbaren Lösungen führen. Im folgenden soll daher eine ausgewählte Reihe von Handelshäfen verschiedener Länder die praktische Anwendung der aufgestellten Bedingungen erläutern; hierbei sind die größeren deutschen Häfen vollständig aufgeführt, von den ausländischen dagegen nur besonders kennzeichnende Formen ausgewählt worden.

Die Hafenanlagen von Stettin.[1]) Beispiel eines Binnenseehafens an der Ostsee, Hafenanlage offen, teils ausgebaute Flußufer, teils gegrabene Becken. Verkehr zwischen Seeschiff, Eisenbahn und Binnenschiffen annähernd gleichmäßig.

Als bedeutendster Binnenseehafen der Ostsee liegt Stettin am Unterlaufe der Oder, 63 km vom Meere entfernt. Er ist durch eine 7 m tiefe Fahr-

[1]) Zeitschrift für Bauwesen 1899, S. 57, Friedrich Krause, Neue Hafenanlagen in Stettin.

rinne, die sich aus der untersten Strecke des Oderstromes, einer durch das Stettiner Haff gebaggerten, geradlinigen Rinne, einem künstlichen Durchstich,

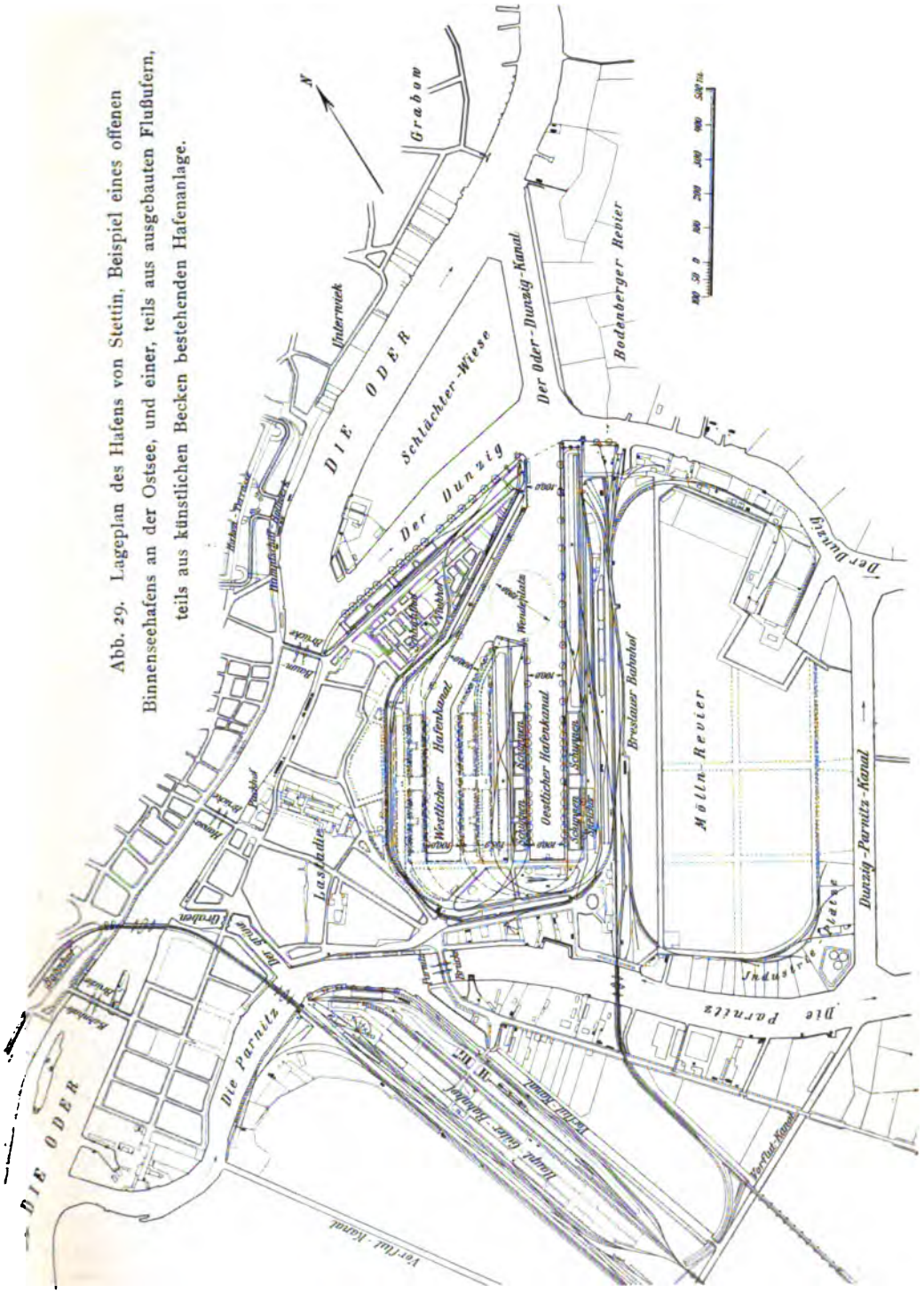


Abb. 29. Lageplan des Hafens von Stettin, Beispiel eines offenen Binnenseehafens an der Ostsee, und einer, teils aus ausgebauten Flußufern, teils aus künstlichen Becken bestehenden Hafenanlage.

der Kaiserfahrt, dem Lauf der mittleren der drei Odermündungen, der alten Swine und der durch Molen eingefaßten Swinemündung zusammensetzt, für Seeschiffe bis 6,5 m Tiefgang jeder Zeit zugänglich. Durch die Oder und die daran anschließenden Wasserstraßen, unter denen der als Ersatz für den nicht mehr ausreichenden Finow-Kanal für Schiffe von 600 t Tragfähigkeit im Bau begriffene Schiffahrtskanal Berlin—Stettin eine bedeutende Rolle zu spielen berufen ist, durch mehrere wichtige Eisenbahnlinien und das Vorhandensein einer bedeutenden Industrie sind die für die gedeiliche Entwicklung eines Seehafens erforderlichen Grundbedingungen gegeben, die Stettin zum wichtigsten Handelsplatz im Gebiete der Ostsee gemacht haben. Die ältesten Hafenteile bestanden aus den im Gebiete der Stadt liegenden Stromstrecken des Oderlaufes und zwei nach Osten abzweigenden Armen desselben, des Dunzig und der Parnitz (vgl. Abb. 29), an denen zur Erleichterung des Verkehrs im Laufe der Zeit von der Stadt, von der Staatseisenbahn- und Wasserbauverwaltung und von Privaten Bollwerke in einem Umfange von über 9 km Länge errichtet wurden. Etwas vollkommener ausgestattete Anlagen wurden in den Jahren 1864 bis 1868 für den Umschlag von Schiff zu Eisenbahn von der Berlin-Stettiner Eisenbahngesellschaft an der Parnitz und in den Jahren 1876 bis 1878 von dieser und der Breslau-Schweidnitz-Freiburger Bahngesellschaft am rechten Dunzigufer angelegt. Letztere wurden, ähnlich wie die älteren Hamburger Kaianlagen, mit Schuppen, Gleisen und Brownschen Dampfkranen versehen, auch wurde ein Schwimmkran von 40 t Tragkraft angeschafft. Zur bequemeren Zugänglichkeit dieser Anlagen diente ein 40 m breiter Kanal zwischen Oder und Dunzig, der Oder - Dunzig - Kanal. Infolge der Zunahme des Verkehrs und der Besorgnis, nach Eröffnung des Kaiser-Wilhelm-Kanals durch die vollkommener ausgestatteten Häfen Hamburg und Bremen in den Hintergrund gedrängt zu werden, entstanden Ende der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts neue Hafenpläne, die in den Jahren 1894 bis 1898 zur Erbauung eines der Neuzeit entsprechend ausgestatteten großen Hafens auf der Insel zwischen Oder, Dunzig und Parnitz führten.

Die durch Abb. 29 im Lageplan dargestellte Hafenanlage besteht aus einem rund 1200 m langen, geraden, östlichen Hafenkanal von 100 m Breite, der am Dunzig gegenüber der Einmündung des Oder-Dunzig-Kanals beginnt und gleichlaufend mit dem Breslauer Bahnhofe geführt ist, ferner aus einem von diesem abzweigenden, gleichlaufenden, zweiten Becken von gleicher Breite und 980 m Länge und einem an der Abzweigungsstelle belegenen Wendeplatz von 230 m Durchmesser. Eine sehr bequeme Zufahrt erhielt der neue Hafen, der durch zollsichere Umschließungen zu einem Freibezirk ausgebildet wurde, durch Verbreiterung des Oder-Dunzig-Kanals auf 100 m in der Wasserspiegellinie. Gleichzeitig wurden weitere Verbesserungen des Stettiner Hafengebiets vorgenommen, durch Verbreiterung der Oder auf 150 m, des Dunzig bis zur neuen Hafeneinfahrt auf 120 m und Herstellung eines Verbindungskanals zwischen Parnitz und Dunzig, des 60 m breiten und 6 m tiefen Dunzig-Parnitz-Kanals, wodurch für die Erreichung der Liegeplätze an der Parnitz ein zweiter Weg zur Verfügung gestellt wurde, für den Fall, daß der alte Zugang durch die Oder, bei dem drei Klappbrücken zu durchfahren sind, durch irgend einen Unfall gesperrt wird. Durch diese Maßnahmen ist die Bewegung größerer

Schiffe innerhalb der Hafenanlagen sehr erleichtert. Außerdem sind beide Hafenbecken durch besondere Spülkanäle von rd. 2 qm Querschnitt mit der Parnitz zur Erneuerung des Wassers verbunden.

Im neuen Freihafen wurden die Ufer zunächst in dem östlichen Becken auf beiden Seiten, später auch in dem anderen, jedoch zunächst nur auf der Westseite, mit Kaimauern auf hohem Pfahlrost eingefaßt und hinter diesen in 11,85 m Entfernung von der Kaikante eingeschossige, massive Schuppenbauten von 182 m Länge, 30 m Tiefe und einer nutzbaren Grundfläche von je 5460 qm vorgesehen, von denen zehn im ganzen mit zusammen 54 600 qm nutzbarer Grundfläche auf dem Hafengelände möglich und bis jetzt vier erbaut sind.

Hinter den Schuppen sind in 21 m Entfernung gleich lange, aber nur 20 m tiefe viergeschossige Speicher geplant, von denen bisher nur einer vollendet ist. Von diesen können im ganzen acht mit je 3640 qm Grundfläche und 29 120 qm Gesamtfläche errichtet werden. Alle übrigen am Wasser liegenden Flächen wurden für den Freiladeverkehr hergerichtet. Zur Handhabung der Güter dienen fahrbare, hydraulisch betriebene Krane von 1,5 bis 2,5 t Tragkraft, die vor den Schuppen als einhüftige, an den Freiladeplätzen als zweihüftige Portalkrane ausgebildet sind und das Druckwasser aus einem am Kopfende des östlichen Hafenbeckens errichteten Maschinenhause erhalten. Zahlreiche, in der üblichen Weise angeordnete Eisenbahngleise stellen die Verbindung mit dem neben dem Hafen liegenden Verschiebebahnhof der Eisenbahnverwaltung her. Ein in der Nähe des Haupteingangs von der Landseite her belegenes, umfangreiches Verwaltungsgebäude gestattet die leichte Abwicklung des geschäftlichen Verkehrs mit den Behörden. Von der im ganzen auf 30 Millionen Mark berechneten Anlage wurde zuerst etwa ein Drittel unter Aufwendung von 12,6 Millionen Mark ausgeführt und die weitere Ergänzung, der Verkehrsentwicklung entsprechend nach und nach vorgenommen. Durch die Vollendung dieser Bauten erhält Stettin in seinen Hafenanlagen einen bedeutenden Vorsprung vor den anderen Handelsplätzen der Ostsee. Vervollständigt werden die Erfordernisse des Hafens noch durch die für die Ausbesserung und den Bau von Schiffen reichlich vorhandenen Schiffsbauanstalten des «Vulkan», der «Oderwerke» usw. Gleichzeitig mit dem Ausbau des Stettiner Hafenanlagen erfolgte durch den preußischen Staat die Vertiefung und Verbesserung der Zufahrtstraße von Swinemünde bis Stettin, so daß Seeschiffe, zu deren Aufnahme der Stettiner Hafen befähigt ist, leicht und sicher bis dahin gelangen können; die hierbei ursprünglich auf 7 m unter Mittelwasser festfestgesetzte Tiefe kann durch Baggerungen ohne Schwierigkeiten auf 8 m gebracht werden.

Nach der Statistik des Deutschen Reiches erreichte der Seeverkehr Stettins im Jahre 1907 eine Größe von 4791 Schiffen mit 1 875 000 t Netto-Registertonnen Raumgehalt.[1])

[1]) Diese Angabe und die gleichen bei den übrigen deutschen Häfen sind der Statistik des Deutschen Reiches, Band 187, I vom Jahre 1907 entnommen. Bei der Ermittlung der Zahlen wurden dort die angekommenen und abgegangenen Schiffe zusammengerechnet und von dieser Summe die Hälfte genommen.

Der Danziger Hafen.[1])

Beispiel eines Mündungshafen, an der Ostsee, Hafenanlage offen, vorwiegend ausgebaute Flußufer. Umschlag mit Eisenbahn vorherrschend.

Durch seine günstige, natürliche Lage an der durch die Halbinsel Hela als Reede vorzüglich geschützten Danziger Bucht und an der Mündung des großen, ein reiches Hinterland durchziehenden Weichselstromes eroberte sich Danzig schon frühzeitig eine achtenswerte Stellung unter den Handelshäfen der Ostsee.

Seine Hafenanlagen haben sich in engem Zusammenhange mit den Veränderungen der Weichselmündung entwickelt. Als ältester Hafenteil dient der sogenannte städtische Binnenhafen, der aus zwei erweiterten Armen der unterhalb Danzig in die Tote Weichsel einmündenden Mottlau gebildet wird (Abb. 30). Infolge der im Mittel nur 60 m betragenden Breite und bei Mittelwasser nur 4,5 m erreichenden Tiefe sind die an den Mottlauufern und auf der zwischen den Mottlauarmen belegenen Insel errichteten Schuppen und Speicher nur kleineren Seeschiffen zugänglich; alle größeren Schiffe müssen in dem

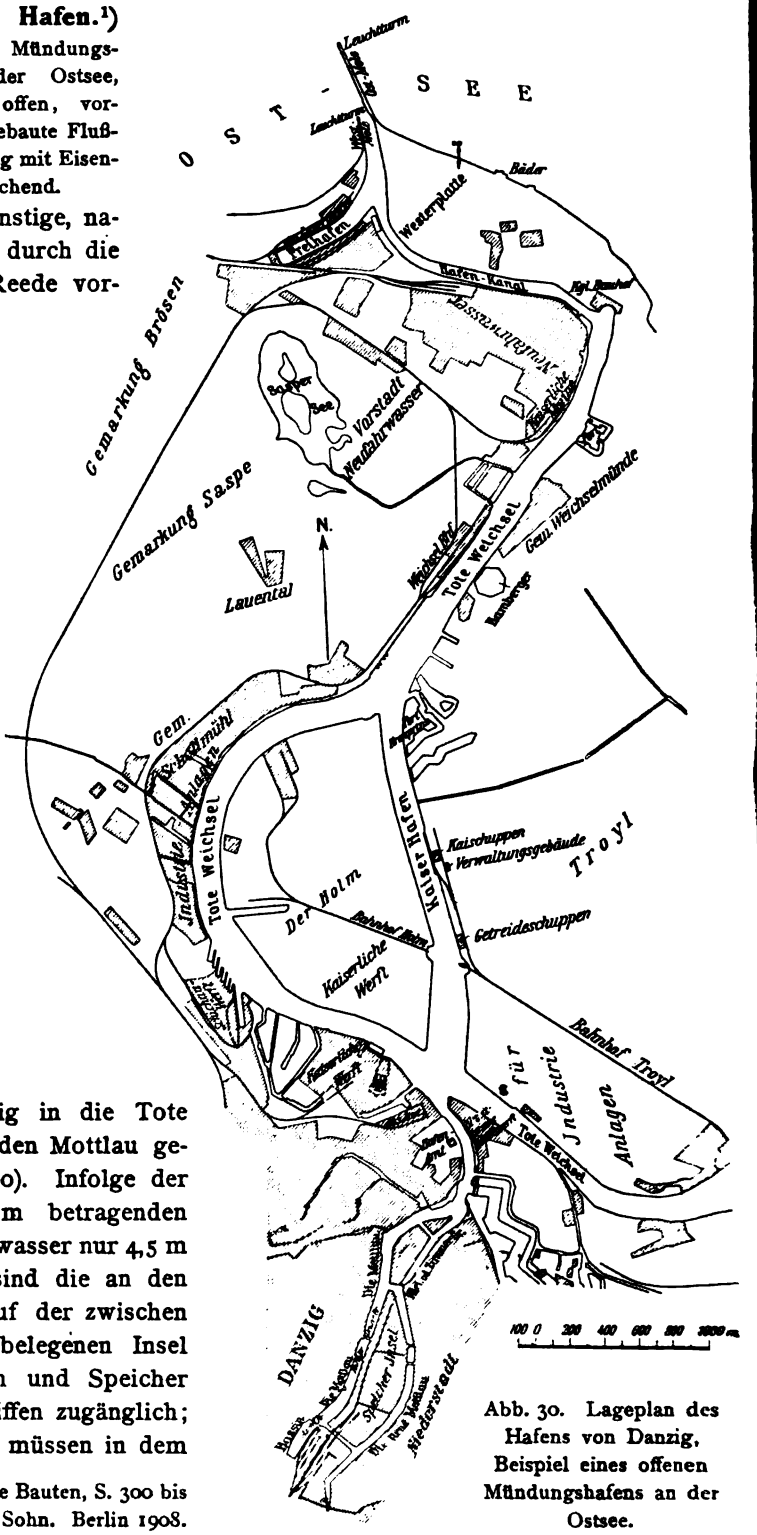


Abb. 30. Lageplan des Hafens von Danzig, Beispiel eines offenen Mündungshafens an der Ostsee.

[1]) Danzig und seine Bauten, S. 300 bis 318, Verlag von Ernst u. Sohn. Berlin 1908.

eigentlichen Seehafen am unteren Laufe der Toten Weichsel löschen und landen. Außer ausgedehnten Eisenbetonbollwerken, Reibe- und Anbindepfählen und einem altertümlichen Kran sind in dem Binnenhafen keine besonderen Schiffahrtsanlagen vorhanden

Zu dem eigentlichen Seehafen Danzigs gehört, seitdem im Jahre 1840 die Weichsel ihre bisherige Mündung verließ und weiter östlich bei Neufähr die schmale Dünenkette durchbrach und diese Mündung im Jahre 1895 nochmals weiter östlich nach Schiewenhorst verlegt wurde, der ganze 28 km lange, stromlos gewordene Unterlauf des Flusses, heute Tote Weichsel genannt. Von diesem Gebiete dient der größere, östlich der Mottlau liegende Teil vornehmlich der Lagerung und Verladung von Floßholz und besitzt außer eingerammten Pfählen und Schwimmbalken zur Abgrenzung der Floßlager und einigen Dalben keine besonderen Hafeneinrichtungen. Ebenso hat auch der hauptsächlich als Hafen benutzte, unterhalb der Mottlaumündung belegene Lauf der alten Weichsel außer den zum Anlegen der Schiffe bestimmten Vorrichtungen keine besonders hervorzuhebenden Anlagen aufzuweisen. Als Kern des jetzigen Seehafens dient der bei Neufahrwasser belegene Hafenkanal von 1600 m Länge, 63 m mittlerer Breite und 7,5 m Tiefe in der Mittelrinne, dessen Ufer durch massive Kaimauern eingefaßt und auf der Südseite mit Eisenbahngleisen und einigen veralteten Lagerschuppen versehen sind. Solange die Weichsel bei Weichselmünde ihre Wasser- und Sandmassen in die Danziger Bucht warf, war der Hafenkanal durch eine Schleuse von dem Weichsellauf abgeschlossen, um das Eindringen der Sandmassen zu verhindern; seit dem Durchbruch bei Neufähr war diese aber zwecklos geworden; sie wurde daher im Jahre 1880 ganz beseitigt.

Am nördlichen Ende des Hafenkanals sichern zwei massive Molen die Mündung gegen Versandung und erleichtern die Einfahrt bei heftigen östlichen und nordöstlichen Winden; die Ostmole tritt bei 831 m Länge zu diesem Zweck um 440 m über den Kopf der nur 208 m langen Westmole hervor; letztere ist gegen die Ostmole geneigt und an der Wurzel 93 m und am Kopf 61 m von dieser entfernt.

Seit 1879 wurde ferner ein neues Hafenbecken von 700 m Länge, 95 m Breite und heute 8 m Tiefe auf der Westseite des Hafenkanals in der Nähe seiner Mündung dem Verkehr übergeben (vgl. Abb. 30), um dem fühlbar gewordenen Mangel an Liegestellen an tiefem Wasser abzuhelfen.

Seine Ufer sind mit Kaimauern eingefaßt und mit Gleisen und Schuppen einfacher Art ausgerüstet; auf dem nördlichen, zum Teil für den Freiladeverkehr benutzten Ufer befinden sich vier elektrisch betriebene, zweihüftige, fahrbare Portalkrane in Gebrauch. Dem neuzeitlichen Bedürfnis entsprechend, wurde dieses Hafenbecken im Jahre 1899 zu einem Freibezirk umgewandelt.

Mit der zunehmenden Entwicklung des Verkehrs und mit dem mehr und mehr hervortretenden Bedürfnis nach zeitgemäßen Lösch- und Ladevorrichtungen sowie nach Schuppenanlagen genügten die Anlagen im Binnenhafen, an der Toten Weichsel und in Neufahrwasser nicht mehr den Anforderungen des Handels und veranlaßten die Stadt Danzig, neue Hafenanlagen in Angriff zu nehmen. Zu diesem Zweck wurde der schon 1692 zur Abkürzung des Bogens der Weichsel

unterhalb der Mottlaumündung gegrabene Schuitenlakenkanal in den Jahren 1901 bis 1903 auf 140 bis 230 m Wasserspiegelbreite und 7,50 m Tiefe bei Mittelwasser vergrößert und in ein geräumiges Hafenbecken, den Kaiserhafen, verwandelt, dessen Ausbau mit allen modernen Hafeneinrichtungen, der Verkehrszunahme entsprechend, nach und nach erfolgen soll. Zunächst ist eine 250 m lange Uferstrecke mit einer Kaimauer eingefaßt, mit einem 60 m tiefen zunächst nur 80 m langen Schuppen versehen und mit vier elektrisch betriebenen zweihüftigen Portalkranen ausgestattet worden (aus Abb. 30 ersichtlich). Je zwei Eisenbahngleise vor und hinter dem Schuppen stellen eine bequeme Verbindung mit der Eisenbahn her. Durch allmählichen Ausbau der Ufer des Kaiserhafens und die Möglichkeit, östlich davon ein zweites gleichlaufendes Becken anlegen zu können, kann auf lange Zeit hinaus dem Bedürfnis des Seeverkehrs entsprochen werden und sind die Mittel gegeben, der alten Handelsstadt Danzig seinen Anteil am Seehandel zu bewahren.

Im ganzen befinden sich im Danziger Hafen zum Festmachen von Fahrzeugen rd. 4,8 km Kaimauern, 1 km hölzerne Bollwerke, 3 km durch Pflaster geschützte Uferstrecken und vor den ungedeckten Uferstrecken 37 hölzerne Gordungswände von 2,1 km Länge mit zahlreichen Dalben, wozu noch rd. 1,8 km Eisenbetonbollwerke an den Ufern der Mottlau hinzukommen.

Auch an Schiffsausbesserungsanstalten ist durch die große Schichau-Werft und mehrere kleinere Werften, wie die von Klawitter und Johannsen, kein Mangel. Nicht unerwähnt bleiben darf die an der Toten Weichsel in der Nähe der Mottlaumündung belegene Kaiserliche Werft, vgl Abb. 16, die bedeutende Teile der Toten Weichsel als Liegeplätze für die ihr zugeteilten Schiffe in Anspruch nimmt und an verschiedenen Stellen des Ufers derselben ausgedehnte Flächen benutzt.

Im ganzen betrug die Schiffsbewegung seewärts im Danziger Hafen im Jahre 1907 2851 Schiffe mit zusammen 812 000 Netto-Registertonnen Raumgehalt.

Der Königsberger Hafen.[1]) Beispiel eines Binnenseehafens an der Ostsee, Hafenanlagen offen, ausschließlich ausgebaute Flußufer, Umschlag mit Eisenbahn vorherrschend.

In ähnlicher Weise wie in Stettin werden die Hafenanlagen Königsbergs durch die Wasserflächen und Ufer des die Stadt mit zwei Armen durchziehenden Pregelstromes gebildet. Infolgedessen erstreckt sich der Königsberger Hafen in weiterem Sinne über die Stadtgrenzen hinaus, indem die Pregelarme oberhalb der Stadt vorwiegend von der Binnenschiffahrt besonders zur Lagerung von Floßholz benutzt werden und der Pregellauf unterhalb fast bis zum Haff hin für Seeschiffahrtszwecke Verwendung findet. Den eigentlichen Binnenhafen bildet im Herzen der Stadt das 485 m lange, 75 bis 85 m breite Stück des alten Pregellaufes zwischen der Eisenbahn- und Grünen Brücke und ein daran anschließendes Stück von 310 m Länge und 40 bis 50 m Breite des sogenannten Hundegatts, deren Ufer dem öffentlichen Verkehr dienen (vgl. den Lageplan, Abb. 31). Seit 1902 sind in diesem Hafenteil er-

[1]) Richter, Der Ausbau des Königsberger Innenhafens. Königsberg 1907. Hartungsche Buchdruckerei.

hebliche Verbesserungen durch den Bau massiver Kaimauern, durch die Errichtung eines zweigeschossigen massiven Schuppens, Werfthalle genannt, von 122 m Länge und 36 m Tiefe mit 6800 qm nutzbarer Fläche und durch die Aufstellung von drei elektrisch betriebenen Halbportalkranen vorgenommen worden. Für die Zukunft sind noch drei weitere Schuppen mit Kranen geplant,

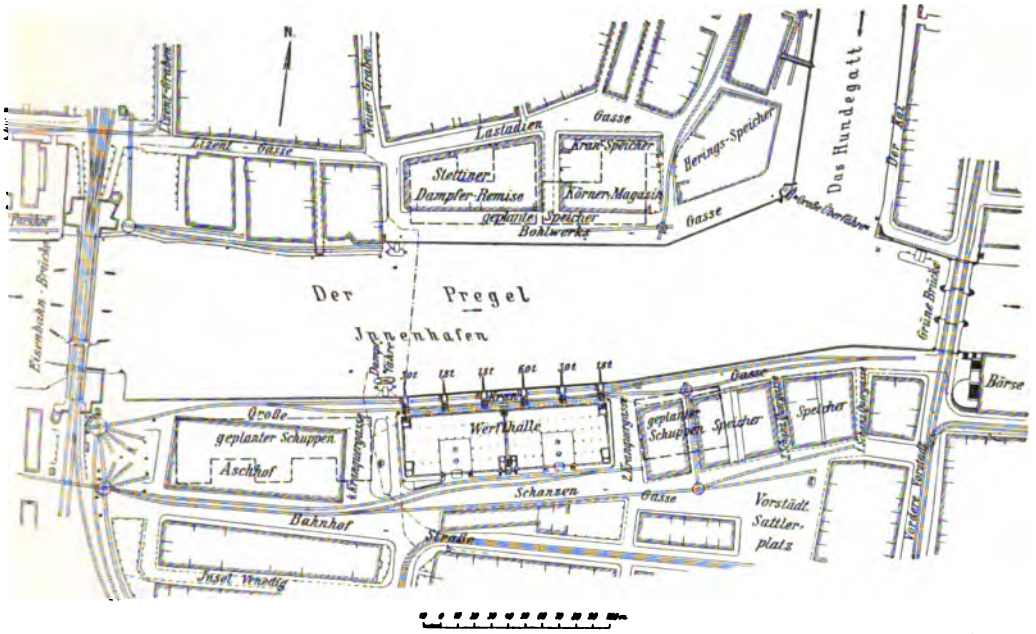


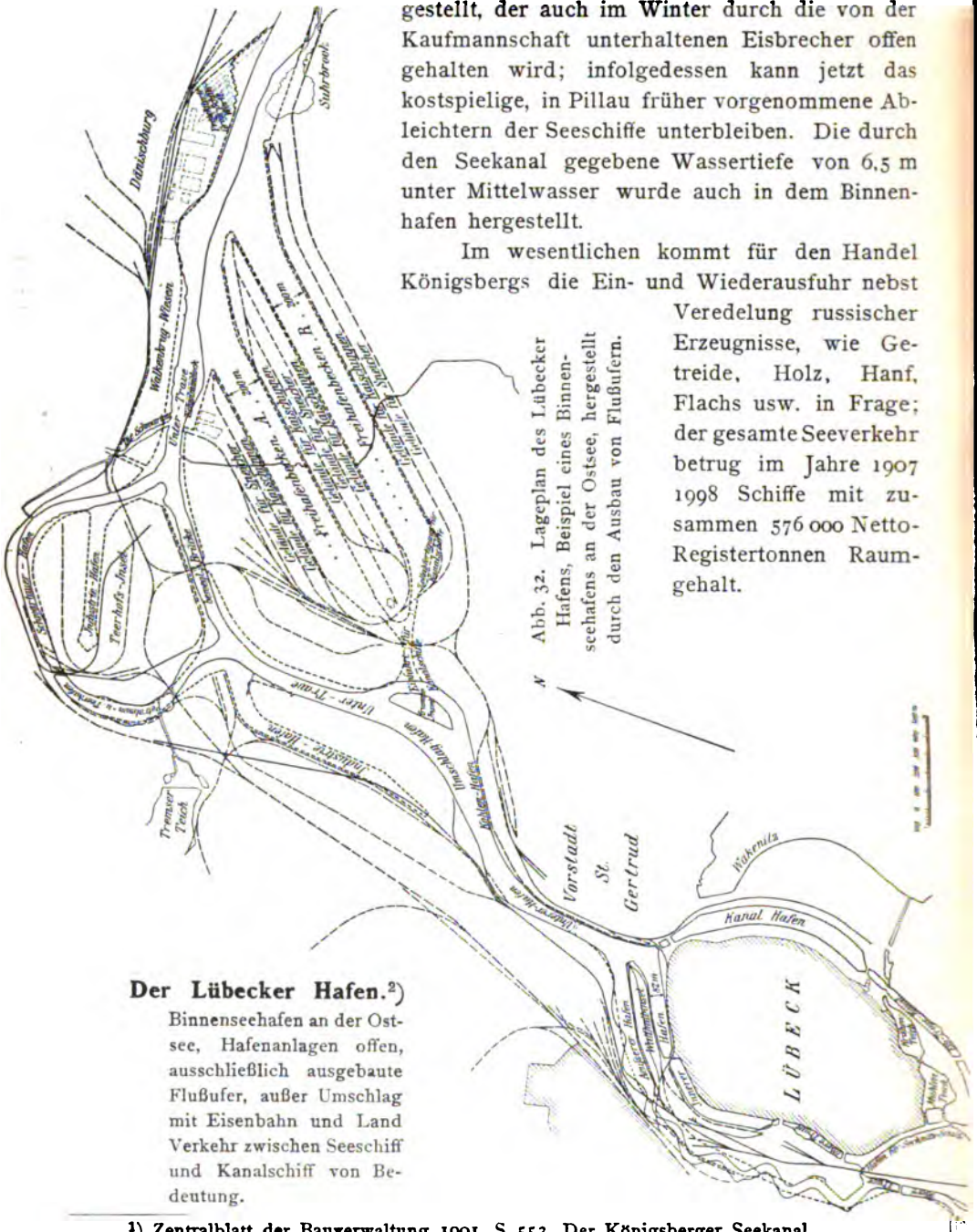
Abb. 31. Lageplan des Hafens von Königsberg, Beispiel eines offenen Binnenseehafens an der Ostsee.

wie im Lageplan, Abb. 31, durch gestrichelte Linien angedeutet ist. Vor und hinter dem Schuppen befinden sich durch elektrisch betriebene Drehscheiben zugängliche Doppelgleise, auf denen die Wagen mittels Spills bewegt werden. Von sonstigen Hafeneinrichtungen ist der am linken Pregelufer unterhalb der Eisenbahnbrücke liegende Eisenbahnkai, der am rechten Ufer befindliche fiskalische Packhofkai und ein von einer Privatgesellschaft errichteter, sehr vollkommen maschinell ausgestatteter Getreidespeicher mit 37 500 t Fassungsvermögen erwähnenswert. Auch wurde durch den Umbau der Krämer- und Schmiedebrücke der neue Pregellauf an dem von großgewerblichen Anlagen in Anspruch genommenen sogen. Sackheim für Seeschiffe zugänglich gemacht. Im ganzen besitzt der Königsberger Hafen 3,3 km ausgebaute städtische Ufer, von denen 1,4 km der Seeschiffahrt und 1,9 km der Binnenschiffahrt dienen, und ferner 1,4 km zoll- und eisenbahnfiskalische mit Bollwerken, bezw. Kaimauern versehene Uferstrecken.

Als 40 km von der See entfernter Binnenseehafen ist Königsberg von dem Zustande seiner durch das Pillauer Seetief, das Frische Haff und den Unterlauf des Pregels gebildeten Zufahrtsrinne abhängig. Da die im Haff vorhandene Tiefe von 4 m gänzlich unzureichend war, so wurde in den Jahren 1888 bis 1901 ein ursprünglich 5 m tief geplanter, noch während der

Ausführung aber auf 6,5 m Tiefe gebrachter Seekanal[1]) am nördlichen Haffufer auf Staatskosten unter Beitragleistung der Kaufmannschaft hergestellt und dadurch ein zeitgemäß bemessener Zugang zu dem Königsberger Hafen sichergestellt, der auch im Winter durch die von der Kaufmannschaft unterhaltenen Eisbrecher offen gehalten wird; infolgedessen kann jetzt das kostspielige, in Pillau früher vorgenommene Ableichtern der Seeschiffe unterbleiben. Die durch den Seekanal gegebene Wassertiefe von 6,5 m unter Mittelwasser wurde auch in dem Binnenhafen hergestellt.

Im wesentlichen kommt für den Handel Königsbergs die Ein- und Wiederausfuhr nebst Veredelung russischer Erzeugnisse, wie Getreide, Holz, Hanf, Flachs usw. in Frage; der gesamte Seeverkehr betrug im Jahre 1907 1998 Schiffe mit zusammen 576 000 Netto-Registertonnen Raumgehalt.


Dänischburg
Stuhrbrack
Walkenberg-Wasser
Unter-Trave
Probebohrungen
Tiefe für Schleuse
Tiefe für Kaiserbecken
Tiefe für Kaiserbecken R. 1
Tiefe für Kaiserbecken A.
Tiefe für Kaiserbecken B.
Tiefe für Kaiserbecken C.
Tiefe für Kaiserbecken D.
Tiefe für Kaiserbecken E.
Tiefe für Kaiserbecken F.
Tiefe für Kaiserbecken G.
Tiefe für Kaiserbecken H.
Tiefe für Kaiserbecken J.
Tiefe für Kaiserbecken K.
Tiefe für Kaiserbecken L.
Tiefe für Kaiserbecken M.
Tiefe für Kaiserbecken N.
Tiefe für Kaiserbecken O.
Tiefe für Kaiserbecken P.
Tiefe für Kaiserbecken Q.
Tiefe für Kaiserbecken R.
Tiefe für Kaiserbecken S.
Tiefe für Kaiserbecken T.
Tiefe für Kaiserbecken U.
Tiefe für Kaiserbecken V.
Tiefe für Kaiserbecken W.
Tiefe für Kaiserbecken X.
Tiefe für Kaiserbecken Y.
Tiefe für Kaiserbecken Z.
Tiefe für Kaiserbecken AA.
Tiefe für Kaiserbecken BB.
Tiefe für Kaiserbecken CC.
Tiefe für Kaiserbecken DD.
Tiefe für Kaiserbecken EE.
Tiefe für Kaiserbecken FF.
Tiefe für Kaiserbecken GG.
Tiefe für Kaiserbecken HH.
Tiefe für Kaiserbecken II.
Tiefe für Kaiserbecken JJ.
Tiefe für Kaiserbecken KK.
Tiefe für Kaiserbecken LL.
Tiefe für Kaiserbecken MM.
Tiefe für Kaiserbecken NN.
Tiefe für Kaiserbecken OO.
Tiefe für Kaiserbecken PP.
Tiefe für Kaiserbecken QQ.
Tiefe für Kaiserbecken RR.
Tiefe für Kaiserbecken SS.
Tiefe für Kaiserbecken TT.
Tiefe für Kaiserbecken UU.
Tiefe für Kaiserbecken VV.
Tiefe für Kaiserbecken WW.
Tiefe für Kaiserbecken XX.
Tiefe für Kaiserbecken YY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHH.
Tiefe für Kaiserbecken III.
Tiefe für Kaiserbecken JJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPPPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRRRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSSSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTTTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUUUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVVVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWWWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXXXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYYYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIIIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPPPPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQQQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRRRRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSSSSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTTTTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUUUUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVVVVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWWWWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXXXXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYYYYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAAAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBBBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCCCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDDDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEEEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFFFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGGGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHHHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIIIIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKKKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLLLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMMMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNNNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOOOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPPPPPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQQQQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRRRRRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSSSSSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTTTTTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUUUUUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVVVVVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWWWWWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXXXXXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYYYYYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZZZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAAAAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBBBBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCCCCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDDDDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEEEEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFFFFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGGGGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHHHHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIIIIIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJJJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKKKKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLLLLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMMMMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNNNNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOOOOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPPPPPPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQQQQQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRRRRRRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSSSSSSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTTTTTTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUUUUUUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVVVVVVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWWWWWWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXXXXXXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYYYYYYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZZZZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAAAAAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBBBBBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCCCCCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDDDDDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEEEEEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFFFFFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGGGGGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHHHHHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIIIIIIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJJJJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKKKKKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLLLLLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMMMMMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNNNNNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOOOOOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPPPPPPPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQQQQQQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRRRRRRRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSSSSSSSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTTTTTTTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUUUUUUUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVVVVVVVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWWWWWWWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXXXXXXXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYYYYYYYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZZZZZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAAAAAAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBBBBBBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCCCCCCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDDDDDDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEEEEEEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFFFFFFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGGGGGGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHHHHHHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIIIIIIIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJJJJJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKKKKKKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLLLLLLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMMMMMMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNNNNNNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOOOOOOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPPPPPPPPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQQQQQQQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRRRRRRRRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSSSSSSSSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTTTTTTTTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUUUUUUUUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVVVVVVVVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWWWWWWWWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXXXXXXXXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYYYYYYYYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZZZZZZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAAAAAAAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBBBBBBBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCCCCCCCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDDDDDDDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEEEEEEEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFFFFFFFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGGGGGGGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHHHHHHHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIIIIIIIIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJJJJJJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKKKKKKKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLLLLLLLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMMMMMMMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNNNNNNNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOOOOOOOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPPPPPPPPPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQQQQQQQQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRRRRRRRRRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSSSSSSSSSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTTTTTTTTTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUUUUUUUUUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVVVVVVVVVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWWWWWWWWWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXXXXXXXXXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYYYYYYYYYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZZZZZZZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAAAAAAAAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBBBBBBBBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCCCCCCCCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDDDDDDDDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEEEEEEEEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFFFFFFFFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGGGGGGGGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHHHHHHHHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIIIIIIIIIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJJJJJJJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKKKKKKKKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLLLLLLLLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMMMMMMMMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNNNNNNNNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOOOOOOOOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPPPPPPPPPPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQQQQQQQQQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRRRRRRRRRRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSSSSSSSSSSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTTTTTTTTTTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUUUUUUUUUUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVVVVVVVVVVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWWWWWWWWWWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXXXXXXXXXXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYYYYYYYYYYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZZZZZZZZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAAAAAAAAAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBBBBBBBBBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCCCCCCCCCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDDDDDDDDDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEEEEEEEEEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFFFFFFFFFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGGGGGGGGGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHHHHHHHHHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIIIIIIIIIIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJJJJJJJJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKKKKKKKKKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLLLLLLLLLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMMMMMMMMMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNNNNNNNNNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOOOOOOOOOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPPPPPPPPPPPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQQQQQQQQQQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRRRRRRRRRRRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSSSSSSSSSSSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTTTTTTTTTTTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUUUUUUUUUUUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVVVVVVVVVVVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWWWWWWWWWWWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXXXXXXXXXXXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYYYYYYYYYYYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZZZZZZZZZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAAAAAAAAAAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBBBBBBBBBBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCCCCCCCCCCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDDDDDDDDDDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEEEEEEEEEEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFFFFFFFFFFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGGGGGGGGGGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHHHHHHHHHHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIIIIIIIIIIIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJJJJJJJJJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKKKKKKKKKKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLLLLLLLLLLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMMMMMMMMMMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNNNNNNNNNNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOOOOOOOOOOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPPPPPPPPPPPPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQQQQQQQQQQQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRRRRRRRRRRRRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSSSSSSSSSSSSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTTTTTTTTTTTTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUUUUUUUUUUUUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVVVVVVVVVVVVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWWWWWWWWWWWWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXXXXXXXXXXXXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYYYYYYYYYYYYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZZZZZZZZZZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAAAAAAAAAAAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBBBBBBBBBBBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCCCCCCCCCCCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDDDDDDDDDDDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEEEEEEEEEEEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFFFFFFFFFFFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGGGGGGGGGGGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHHHHHHHHHHHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIIIIIIIIIIIIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJJJJJJJJJJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKKKKKKKKKKKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLLLLLLLLLLLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMMMMMMMMMMMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNNNNNNNNNNNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOOOOOOOOOOOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPPPPPPPPPPPPPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQQQQQQQQQQQQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRRRRRRRRRRRRRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSSSSSSSSSSSSSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTTTTTTTTTTTTTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUUUUUUUUUUUUUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVVVVVVVVVVVVVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWWWWWWWWWWWWWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXXXXXXXXXXXXXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYYYYYYYYYYYYYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZZZZZZZZZZZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAAAAAAAAAAAAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBBBBBBBBBBBBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCCCCCCCCCCCCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDDDDDDDDDDDDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEEEEEEEEEEEEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFFFFFFFFFFFFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGGGGGGGGGGGGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHHHHHHHHHHHHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIIIIIIIIIIIIIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJJJJJJJJJJJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKKKKKKKKKKKKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLLLLLLLLLLLLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMMMMMMMMMMMMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNNNNNNNNNNNNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOOOOOOOOOOOOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPPPPPPPPPPPPPPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQQQQQQQQQQQQQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRRRRRRRRRRRRRRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSSSSSSSSSSSSSSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTTTTTTTTTTTTTTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUUUUUUUUUUUUUUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVVVVVVVVVVVVVVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWWWWWWWWWWWWWWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXXXXXXXXXXXXXXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYYYYYYYYYYYYYYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZZZZZZZZZZZZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAAAAAAAAAAAAAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBBBBBBBBBBBBBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCCCCCCCCCCCCCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDDDDDDDDDDDDDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEEEEEEEEEEEEEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFFFFFFFFFFFFFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGGGGGGGGGGGGGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHHHHHHHHHHHHHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIIIIIIIIIIIIIIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJJJJJJJJJJJJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKKKKKKKKKKKKKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLLLLLLLLLLLLLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMMMMMMMMMMMMMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNNNNNNNNNNNNNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOOOOOOOOOOOOOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPPPPPPPPPPPPPPPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQQQQQQQQQQQQQQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRRRRRRRRRRRRRRRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSSSSSSSSSSSSSSSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTTTTTTTTTTTTTTTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUUUUUUUUUUUUUUUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVVVVVVVVVVVVVVVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWWWWWWWWWWWWWWWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXXXXXXXXXXXXXXXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYYYYYYYYYYYYYYYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZZZZZZZZZZZZZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAAAAAAAAAAAAAAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBBBBBBBBBBBBBBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCCCCCCCCCCCCCCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDDDDDDDDDDDDDDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEEEEEEEEEEEEEEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFFFFFFFFFFFFFFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGGGGGGGGGGGGGGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHHHHHHHHHHHHHHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIIIIIIIIIIIIIIIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJJJJJJJJJJJJJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKKKKKKKKKKKKKKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLLLLLLLLLLLLLLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMMMMMMMMMMMMMMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNNNNNNNNNNNNNNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOOOOOOOOOOOOOOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPPPPPPPPPPPPPPPPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQQQQQQQQQQQQQQQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRRRRRRRRRRRRRRRRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSSSSSSSSSSSSSSSSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTTTTTTTTTTTTTTTTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUUUUUUUUUUUUUUUUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVVVVVVVVVVVVVVVVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWWWWWWWWWWWWWWWWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXXXXXXXXXXXXXXXXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYYYYYYYYYYYYYYYYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZZZZZZZZZZZZZZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAAAAAAAAAAAAAAAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBBBBBBBBBBBBBBBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCCCCCCCCCCCCCCCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDDDDDDDDDDDDDDDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEEEEEEEEEEEEEEEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFFFFFFFFFFFFFFFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGGGGGGGGGGGGGGGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHHHHHHHHHHHHHHHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIIIIIIIIIIIIIIIIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJJJJJJJJJJJJJJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKKKKKKKKKKKKKKKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLLLLLLLLLLLLLLLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMMMMMMMMMMMMMMMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNNNNNNNNNNNNNNNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOOOOOOOOOOOOOOOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPPPPPPPPPPPPPPPPPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQQQQQQQQQQQQQQQQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRRRRRRRRRRRRRRRRRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSSSSSSSSSSSSSSSSSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTTTTTTTTTTTTTTTTTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUUUUUUUUUUUUUUUUUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVVVVVVVVVVVVVVVVVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWWWWWWWWWWWWWWWWWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXXXXXXXXXXXXXXXXXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYYYYYYYYYYYYYYYYYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZZZZZZZZZZZZZZZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAAAAAAAAAAAAAAAAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBBBBBBBBBBBBBBBBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDDDDDDDDDDDDDDDDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEEEEEEEEEEEEEEEEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFFFFFFFFFFFFFFFFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGGGGGGGGGGGGGGGGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHHHHHHHHHHHHHHHHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIIIIIIIIIIIIIIIIIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJJJJJJJJJJJJJJJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKKKKKKKKKKKKKKKKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLLLLLLLLLLLLLLLLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMMMMMMMMMMMMMMMMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNNNNNNNNNNNNNNNNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOOOOOOOOOOOOOOOOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPPPPPPPPPPPPPPPPPPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQQQQQQQQQQQQQQQQQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRRRRRRRRRRRRRRRRRRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSSSSSSSSSSSSSSSSSSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTTTTTTTTTTTTTTTTTTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUUUUUUUUUUUUUUUUUUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVVVVVVVVVVVVVVVVVVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWWWWWWWWWWWWWWWWWWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYYYYYYYYYYYYYYYYYYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEEEEEEEEEEEEEEEEEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGGGGGGGGGGGGGGGGGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHHHHHHHHHHHHHHHHHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIIIIIIIIIIIIIIIIIIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJJJJJJJJJJJJJJJJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKKKKKKKKKKKKKKKKKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLLLLLLLLLLLLLLLLLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMMMMMMMMMMMMMMMMMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNNNNNNNNNNNNNNNNNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOOOOOOOOOOOOOOOOOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPPPPPPPPPPPPPPPPPPPP.
Tiefe für Kaiserbecken QQQQQQQQQQQQQQQQQQQQQ.
Tiefe für Kaiserbecken RRRRRRRRRRRRRRRRRRRRR.
Tiefe für Kaiserbecken SSSSSSSSSSSSSSSSSSSSS.
Tiefe für Kaiserbecken TTTTTTTTTTTTTTTTTTTTT.
Tiefe für Kaiserbecken UUUUUUUUUUUUUUUUUUUUU.
Tiefe für Kaiserbecken VVVVVVVVVVVVVVVVVVVVV.
Tiefe für Kaiserbecken WWWWWWWWWWWWWWWWWWWWW.
Tiefe für Kaiserbecken XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.
Tiefe für Kaiserbecken YYYYYYYYYYYYYYYYYYYYY.
Tiefe für Kaiserbecken ZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZ.
Tiefe für Kaiserbecken AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA.
Tiefe für Kaiserbecken BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB.
Tiefe für Kaiserbecken CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC.
Tiefe für Kaiserbecken DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD.
Tiefe für Kaiserbecken EEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEE.
Tiefe für Kaiserbecken FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF.
Tiefe für Kaiserbecken GGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGG.
Tiefe für Kaiserbecken HHHHHHHHHHHHHHHHHHHHHH.
Tiefe für Kaiserbecken IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII.
Tiefe für Kaiserbecken JJJJJJJJJJJJJJJJJJJJJJ.
Tiefe für Kaiserbecken KKKKKKKKKKKKKKKKKKKKKK.
Tiefe für Kaiserbecken LLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLL.
Tiefe für Kaiserbecken MMMMMMMMMMMMMMMMMMMMMM.
Tiefe für Kaiserbecken NNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNN.
Tiefe für Kaiserbecken OOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOO.
Tiefe für Kaiserbecken PPP

Als Binnenseehafen ist Lübeck durch den Unterlauf der Trave von Travemünde aus für Seeschiffe bis 7 m Tiefgang zugänglich. Durch weitere Baggerungen soll die jetzt in der Zufahrtstraße vorhandene Tiefe von 7,5 m unter Mittelwasser bis zum Jahre 1912 auf 8,5 m gebracht werden. Den eigentlichen Seehafen Lübecks bildet der Travelauf von der Holstenbrücke abwärts und nördlich davon ein gleichlaufendes, erweitertes Stück des früheren Stadtgrabens (siehe den Lageplan, Abb. 32). Man unterscheidet den inneren Hafen, bestehend aus dem Travelauf von der Holstenbrücke bis etwa zur Struckfähre, den damit gleichlaufenden äußeren Hafen und von der Struckfähre abwärts den unteren Hafen. Noch weiter nach See zu befindet sich in einer 1 km langen, 130 m breiten Ausbuchtung der Trave ein für den Verkehr von Binnen- und Seeschiffen bestimmter, zu diesem Zweck mit Dalben versehener Umschlaghafen, dessen Breite durch Beseitigung der Krummen Insel auf 300 m vergrößert werden kann.

Von den genannten Hafenteilen ist der innere Hafen am weitesten ausgebaut, indem er bereits auf einem großen Teil seiner Länge mit Kaimauern und Kaistraßen versehen ist; im ganzen werden seine beiden Teile, der erste und zweite innere Hafen, einmal rd. 1,3 km Länge bei 82 m Breite und 6,5 bis 8,5 m Tiefe aufweisen, von dem 1,83 km Uferlänge bereits ausgebaut sind. Am 1,5 km langen äußeren Hafen ist zunächst nur im unteren Teil der 0,71 km lange Kulenkampkai für 8,5 m Tiefe hergestellt worden.

Zwischen diesen beiden zweiten Hafenbecken befindet sich die 107 m breite Wallhalbinsel, der zeitliche Kern der Hafenanlage. Auf dieser sind zwei Schuppenreihen und ein maschinell gut ausgestattetes Lagerhaus errichtet und durch Doppelgleise am Ufer und durch ein Doppel- und dreifaches Gleis neben der in Mitte liegenden Kaistraße für Land- und Eisenbahnverkehr bequem zugänglich gemacht worden. Der vollständige Ausbau des inneren undäußeren Hafens hängt mit der in der Ausführung begriffenen Umgestaltung der Bahnhofsanlagen zusammen.

Im unteren Hafen bestehen auf dem rechten Traveufer vorläufig befestigte Ufer in 1,6 km Länge mit anschließenden Kaiflächen von etwa 46,5 m Breite, deren Fortsetzung durch einen 93 m breiten Kai bis zur Kochschen Schiffswerft zur Bildung eines Kohlenhafens in Aussicht genommen ist.

Durch die Erbauung des Elbe-Trave-Kanals[1]) erhielt Lübeck im Jahre 1900 zu den bereits vorhandenen Landverbindungen auch auf dem Wasserwege an Stelle des veralteten Stecknitz-Kanals eine für billige Massenbeförderung geeignete, leistungsfähige Verbindung mit dem ausgedehnten Elbegebiet und damit neue Grundlagen zu einer gedeihlichen Entwicklung. Infolgedessen wurden für den weiteren Ausbau der Hafenanlagen in weitvorausschauender, großzügiger Weise umfassende Pläne für die Zukunft des ganzen Travegebiets von Lübeck bis zur See aufgestellt, von denen hier die Hauptteile als kennzeichnende Beispiele für ein derartiges Vorgehen hervorgehoben werden mögen, genaue Angaben befinden sich in dem genannten Werke von Rehder.

Für den Kanalverkehr sollen außer dem bereits zwischen Hüxterdammer und Burgtor-Brücke bestehenden 1000 m langen und 100 m breiten Kanalhafen

[1]) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 1900, S. 754 u. f.

oberhalb des Lachswehrs unter Benutzung der Kanalstrecke zwischen der alten und neuen Eisenbahnbrücke und oberhalb der letzteren neue Anlegeufer für den öffentlichen Verkehr von 5,6 km Länge geschaffen werden. Ferner sollen der äußere und innere Hafen durch Ausbau des Stadtgrabens und der Trave oberhalb der Holstenbrücken für Kanalschiffe leicht zugänglich gemacht werden.

Für den Seeverkehr dagegen ist auf dem rechten Ufer der Untertrave auf den Tilgenkrugwiesen und dem Schellbruch ein ausgedehnter Freihafen geplant, der aus zwei gleichlaufenden Becken von 1,7 bezw. 2,2 km Länge bestehen wird.

Als Breite der Becken ist mit Rücksicht auf den zu erwartenden unmittelbaren Umschlag zwischen See- und Kanalschiffen, die durch Verbindungskanäle von oben her in die Hafenbecken gelangen können, ein Maß von 200 m gewählt worden, um in der Mitte für diesen Verkehr eine Dalbenreihe anlegen zu können. Für die Bemessung der Kaibreiten wurde angenommen, daß am Ufer zunächst Doppelgleise, darauf einschließlich der Ladebühnen 62 m tiefe Schuppen, dann wieder drei Gleise, eine 12 m breite Straße und endlich mit den Ladebühnen 44 m tiefe Speicher Platz finden. Auf dem in den Freibezirk einzubeziehenden Gelände ist ferner ein ausgedehnter Verschiebebahnhof und eine Schiffsausbesserungswerkstatt nebst Schwimmdock vorgesehen. Für die Wassertiefe ist zunächst ein Maß von 8,5 m unter Berücksichtigung einer späteren Vergrößerung auf 10 bis 11 m in Aussicht genommen.

Außer den genannten, dem Handelsverkehr dienenden Anlagen sind auch für die Begünstigung der Entwicklung des Großgewerbes ausgedehnte Pläne gefaßt worden. So kann hinter dem Vorwerksplatz ein 1,4 km langes, 95 bis 100 m breites Becken von zuerst 6,5, später 7,5 m Tiefe zur Vermehrung der Holzlagerplätze und zur Aufschließung des Vorwerker Fabrikgeländes dienen, ferner ein Teil des durch einen Durchstich abgeschnittenen, die Teerhofs-Insel umfassenden Travearmes für einen 700 m langen Teer- und Petroleumhafen benutzt werden und das andere 1,4 km lange Stück, der Schwartauer Hafen und ein davon ausgehender Stichkanal von 0,8 km Länge für andere industrielle Anlagen Verwendung finden. Weitere Gelegenheit zur Ausdehnung der Industrie bieten ausgedehnte Landflächen an der Untertrave zwischen Gothmund und Schlutup am rechten Ufer und auf dem linken zwischen Siems und Travemünde.

Für alle diese Anlagen kann durch die Ausführung einer geplanten Trave-Uferbahn bequemer Eisenbahnanschluß hergestellt werden, so daß sie von dem Zusammentreffen der drei Hauptverkehrsmittel, der Eisenbahnen, See- und Kanalschiffe nach Belieben Vorteil ziehen können. Es kann erwartet werden, daß einem so großzügig angelegten, alle nur irgend verwertbaren Vorteile benutzenden Plane, wenn zunächst auch nur kleine Teile zur Ausführung gelangen werden, der Erfolg für die Entwicklung des Seehafens Lübeck nicht versagt bleiben wird.

Für den Seeverkehr des Jahres 1907 ist die Zahl von 3222 Schiffen mit 718 000 Netto-Registertonnen Raumgehalt festgestellt worden.

Emden. Beispiel eines Mündungshafens an der Nordsee, Hafenanlagen zum größten Teil geschlossen, künstliche Becken, Umschlag zwischen See- und Kanalschiff von großer Bedeutung, Land für Erweiterung durch Eindeichung gewonnen.

An der neuzeitlichen Entwicklung des Emder Hafens kann in besonders lehrreicher Weise gezeigt werden, wie durch die Schaffung eines billigen, leistungsfähigen Massenbeförderungsweges, des im Jahre 1899 eröffneten Dortmund-Ems-Kanals, der Anstoß zu neuem Aufblühen gegeben werden kann, indem die gesamte Güterbewegung seewärts seit dem Jahre 1898 vor der Eröffnung des Kanals und der neuen Hafenanlagen von 156 000 t und bis zum Jahre 1904 auf 1 390 000 t anwuchs. Im Jahre 1907 suchten den Hafen bereits 1894 Schiffe mit 635 000 Netto-Registertonnen Raumgehalt auf.

Aus der in früheren Jahrhunderten unmittelbar an einer Ems-Krümmung gelegenen blühenden Hafenstadt Emden war durch die Entstehung des Dollart und die zunehmende Verlandung des alten Zuganges im 19. Jahrhundert eine 3 km vom Strom entfernt liegende und von diesem nur durch eine schmale Wasserrinne erreichbare kleine Landstadt geworden. Erst im Jahre 1879, als die Emder Hafenanlagen gelegentlich der Erbauung des Emden mit Wilhelmshaven verbindenden Ems-Jade-Kanals in den Besitz des preußischen Staates übergingen, begann eine neue Entwicklung des Hafens. Durch den 1881 bis 1883 erfolgten Bau einer Kammerschleuse von 120 m Länge, 15 m Breite und 6,7 m Drempeltiefe wurde der Zugang zu dem alten Hafen verbessert, der mithin ein geschlossener Hafen war; der mittlere Tidehub beträgt in Emden rd. 2,8 m. In den folgenden Jahren bis 1899 gelangte der 2,5 ha große Binnenhafen zur Ausführung (vgl. den Lageplan, Abb. 33), der bei 7 m Wassertiefe bis zu 150 m Breite erhielt und Schiffe von 6 m Tiefgang aufnehmen kann. An seiner Ostseite wurden durch Bohlwerke, Gleise, Schuppen und elektrisch betriebene Krane für den Umschlag auf die Eisenbahn und durch die Einmündung des Dortmund-Ems-Kanals für den Umschlag von See- und Kanalschiffen gute Liegeplätze geschaffen. Durch den neuen Binnenhafen wurden ferner große unbebaute Landflächen für gewerbliche Zwecke erschlossen. Von dieser Gelegenheit machten auf der Ostseite eine große Schiffswerft, die 1905 eröffneten Nordseewerke, und das Rheinisch-Westfälische Kohlensyndikat durch Anlage einer Preßkohlenfabrik Gebrauch, während auf der Westseite an drei kleinen schräg abzweigenden Hafenbecken die in Emden beheimateten Heringsfanggesellschaften sich niederließen.

Da die alte Kammerschleuse mit ihrem bogenförmigen Drempel nur 5 m tief gehenden Schiffen den Zugang zu dem neuen Binnenhafen gestattete, so wurde, um den immer größer werdenden Schiffsabmessungen Rechnung zu tragen und um einen leistungsfähigen Anlaufhafen mit Tiefkai zu schaffen, in den Jahren 1899 bis 1901 der Emder Außenhafen angelegt, bestehend aus einem 1,3 km langen, in der Sohle 94 m breiten Becken mit 11,5 m Wassertiefe unter Mittelhochwasser. Seine Größe von 17,5 ha gewährt für 10 bis 14 große Dampfer Liegeplätze, und seine Tiefe genügt auch noch bei Niedrigwasser-Springtide für 8 m tiefgehende Schiffe. Gleichzeitig wurde in der Emsmündung eine 200 m breite und 10 m unter Mittelhochwasser tiefe Zufahrtsrinne durch Baggerungen hergestellt.

Von den Ufern des neuen, behufs Erleichterung des Verkehrs als Freibezirk eingerichteten Hafenbeckens wurde das östliche für den Umschlags-

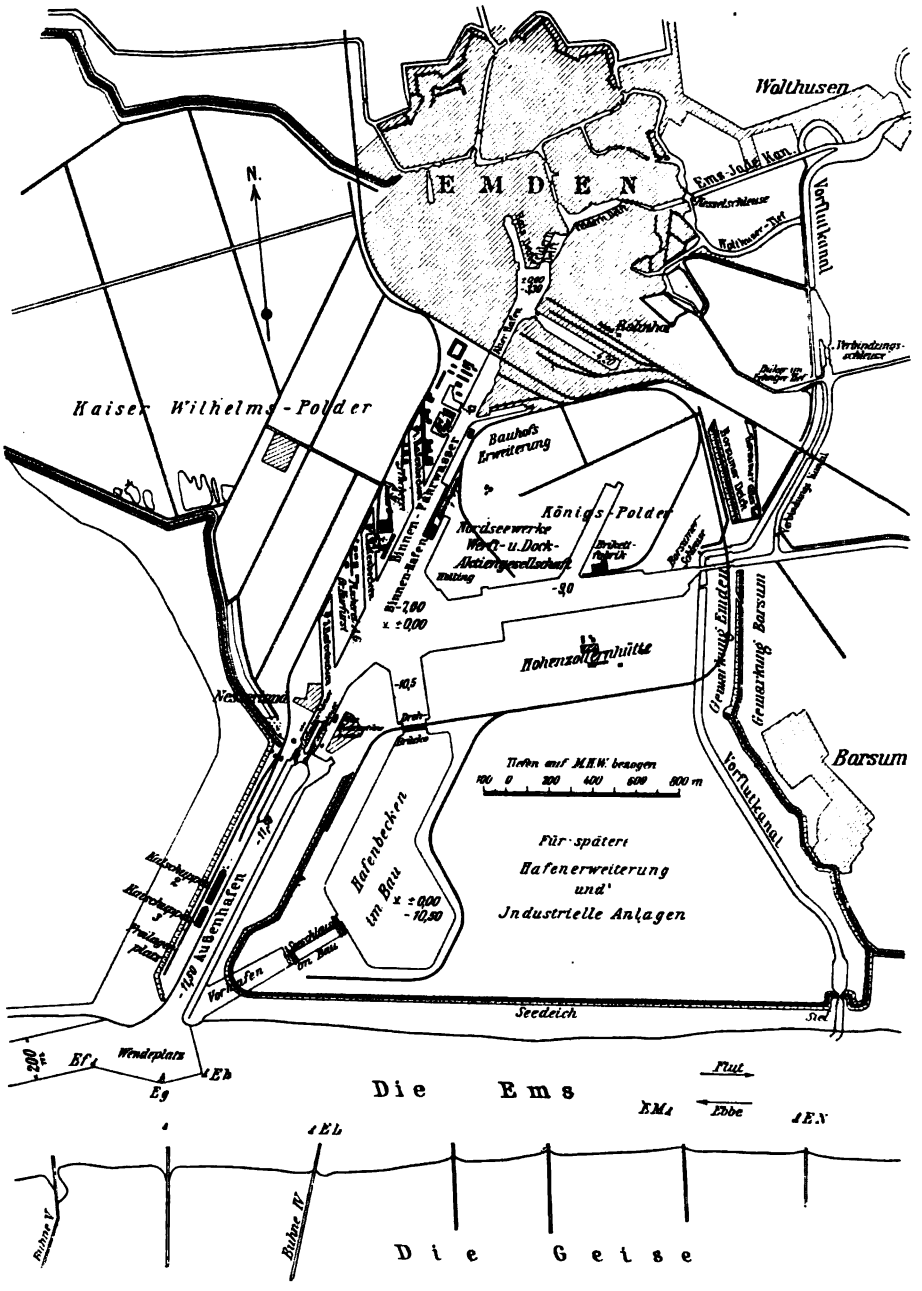


Abb. 33. Lageplan des Emder Hafens, Beispiel eines zum größten Teile geschlossenen, künstlichen Hafens.

verkehr von See- und Kanalschiffen nur mit 14 Dalben versehen, das westliche dagegen weiter ausgebaut durch Herstellung einer Kaimauer von rd. 890 m

Länge, zweier großer Kaischuppen von 4000 und 8000 qm Grundfläche. Zur Ausrüstung wurden ferner 13 elektrisch betriebene fahrbare Halbportalkrane, ein fester Kran von 40 t Tragkraft, ein Kohlenkipper und zwei große Verladebrücken zum Löschen und Laden von Massengütern aufgestellt. Bei der Anlage wurde auf die Bedürfnisse großer Schiffahrtsgesellschaften besondere Rücksicht genommen und ein Teil derselben an die Hamburg-Amerika-Linie verpachtet.

In den wenigen Jahren ihres Bestehens hat die Anlage ihren Zweck völlig erfüllt und die bereits obenerwähnte Verkehrssteigerung im Emdener Hafen bewirkt; da sich aber mehr und mehr gezeigt hat, daß die bestehenden Anlagen bald zu klein sein werden, so ist eine weitere Vergrößerung der Hafenanlagen östlich von dem Außenhafen in Angriff genommen worden. Hier läßt sich durch einen 1904 begonnenen Deich auf dem fiskalischen Königspolder Watt eine 305 ha große Fläche gewinnen, die wegen des bequemen Zugangs von See her für die Anlage von Hafenbecken vorzüglich geeignet ist und ferner vorteilhaft gelegen ist für guten und kurzen Eisenbahnanschluß sowie für leichte Verbindung mit den Binnenwasserstraßen, für übersichtlichen Anschluß an den bestehenden Freibezirk, für weitgehende Erweiterungsfähigkeit und für günstige Aufschließung von Gelände für großgewerbliche Anlagen. Im Gegensatz zu dem Außenhafen wird diese neueste Hafenerweiterung als Dockhafen mit einer neuen Seekammerschleuse erbaut, da nach den bisherigen Erfahrungen die Beseitigung des starken Schlickfalls im Außenhafen zu bedeutende Kosten verursacht und ferner für die erhofften gewerblichen Anlagen ein gleichbleibender Wasserstand vorteilhafter ist. Von den geplanten Anlagen (siehe den Lageplan, Abb. 33) wird zunächst nur der Teil ausgeführt, der aus der neuen Seekammerschleuse, einem daran anschließenden Wendeplatz von 250 m Durchmesser und einem Hafenbecken von 11,5 m Tiefe besteht, das etwa 20 Seeschiffe aufnehmen kann, die für den Umschlagsverkehr an Dalben festmachen. Von dem Hafenbecken führt eine Verbindung nach dem neuen Binnenhafen, der auf diese Weise für große Seeschiffe zugänglich wird, einen zweiten Zugang und neue Erweiterungsmöglichkeiten erhält; zunächst soll zu diesem Zweck die Strecke des Dortmund-Ems-Kanals bis zur Borßumer Schleuse auf 100 bis 150 m verbreitert und auf 9 m vertieft werden. Hierbei bietet sich gegenüber der Werft ein günstiger Platz zur Aufstellung eines großen Schwimmdocks, so daß auch die unentbehrliche Ausbesserungsgelegenheit nicht fehlt.

Alle Abmessungen der neuen Anlage sind für die Anforderungen der größten Seeschiffe bemessen; die Kammerschleuse erhält 250 m Länge, 25 m Breite und eine Drempeltiefe von 12 m unter Mittelhochwasser. Vor der äußerst günstig für die Einfahrt von See her liegenden Schleuse wird ein 500 m langer, 60 m breiter Vorhafen hergestellt. Zu den Nebenanlagen gehört die Verlegung des Vorflutkanals und die Erbauung eines neuen 11,5 m weiten Sieles in dem neuen Deich und die Herstellung einer Hafenbahn zum Anschluß des neuen Geländes an den Staatsbahnhof. Durch die Vollendung der geplanten Anlagen rückt die noch vor wenigen Jahrzehnten unbedeutende Hafen-

stadt Emden mit Hilfe des Staates unter die Reihe der für die größten Seeschiffe in Betracht kommenden Seehäfen.

Harburg. Beispiel eines Binnenseehafens an der Nordsee, teils geschlossen, teils offen, besonders gekennzeichnet als zukünftiger Großgewerbehafen (Industriehafen).

Da der Tidehub an der Süderelbe vor Harburg rd. 1,80 m beträgt, so wurden die älteren Hafenanlagen als Dockanlagen angelegt und durch zwei kleinere Kammerschleusen von 43,8 bezw. 70 m Länge, 9,9 bezw. 17 m Breite und 4,5 bezw. 5,3 m Drempeltiefe unter dem gewöhnlichen Hafenwasserstande (0,3 m unter Mittelhochwasser) zugänglich gemacht. Infolge der in dem alten Hafengebiet liegenden fünfeckigen ehemaligen Zitadelle ist die Grundrißform sehr unregelmäßig und aus einer Anzahl kleinerer Becken zusammengesetzt. Unter den im ganzen 2,5 ha Wasserfläche einnehmenden Hafenteilen (Abb. 34) (sind zu erwähnen der Petroleumhafen (5,3 m tief), der Verkehrshafen (6 m), der Lotsenkanal (6 m), der Hafenkanal (5 m), der östliche und westliche Bahnhofskanal (4,4 bezw. 3,9 m), der Kaufhauskanal (2,7 m), der Ziegelwiesenkanal (6 m) und der Holzhafen (3 m), deren Tiefen die in Klammern beigefügten Zahlen angeben.

Von den insgesamt 9,5 km betragenden, teils durch Kaimauern oder Bohlwerke, teils durch Deckwerke geschützten Uferstrecken besitzen nur 3,7 km Eisenbahnanschluß. Zur weiteren Ausrüstung gehören 38 verschiedenartige Krane mit Hand- und hydraulischem Antrieb und neben vielen privaten Lagerhäusern 5 öffentliche Schuppen mit zusammen 6500 qm Grundfläche.

Durch seine günstige Lage an leistungsfähigen Zufahrtstraßen zu Wasser und zu Lande entwickelte sich Harburg in neuerer Zeit zu einer bedeutenden Industriestadt, da den daselbst errichteten gewerblichen Anlagen der billige, unmittelbare Bezug der von ihnen benötigten Rohstoffe auf dem Seewege, die bequeme Versendung ihrer Erzeugnisse über See oder auf dem Wasserwege, durch die Elbe und die anschließenden Wasserstraßen, sowie auf den Eisenbahnen und die Nähe der großen Handelsstadt Hamburg in gleicher Weise zum Vorteil gereicht. Da die bestehenden Hafenanlagen den heutigen Bedürfnissen des Verkehrs nicht mehr entsprachen und auch an der Grenze der Erweiterungsmöglichkeit angelangt waren, so wurde in den Jahren 1904 bis 1907 der größere Teil einer bedeutenden Hafenerweiterung zur Ausführung gebracht, die in besonderer Weise auf die örtlichen Bedürfnisse der großgewerblichen Anlagen Rücksicht nimmt und als kennzeichnendes Beispiel für einen Großgewerbehafen besonders hervorgehoben zu werden verdient.

Der neue Hafen umfaßt vier große offene Hafenbecken, die etwas flußabwärts geneigt von der Süderelbe abzweigen und bei einer Sohlenbreite von 100 m bei Mittelniedrigwasser 8 m Tiefe aufweisen; die Sohlenbreite vergrößert sich an den Mündungen der Becken, um das Ein- und Auslaufen zu erleichtern, auf 120 m. Von dem Elbufer an gerechnet ist das erste, östlichste Hafenbecken 540 m, das zweite 625 m, das dritte 785 m und das vierte, zunächst nicht ausgeführte, 900 m lang.

Zwischen diesen Becken erstrecken sich auf 5,4 m über Mittelniedrigwasser aufgehöhte, gegen Hochwasser völlig geschützte Landzungen, die mit Ausnahme eines in der Mitte liegenden 27 m breiten Verkehrsstreifens für die

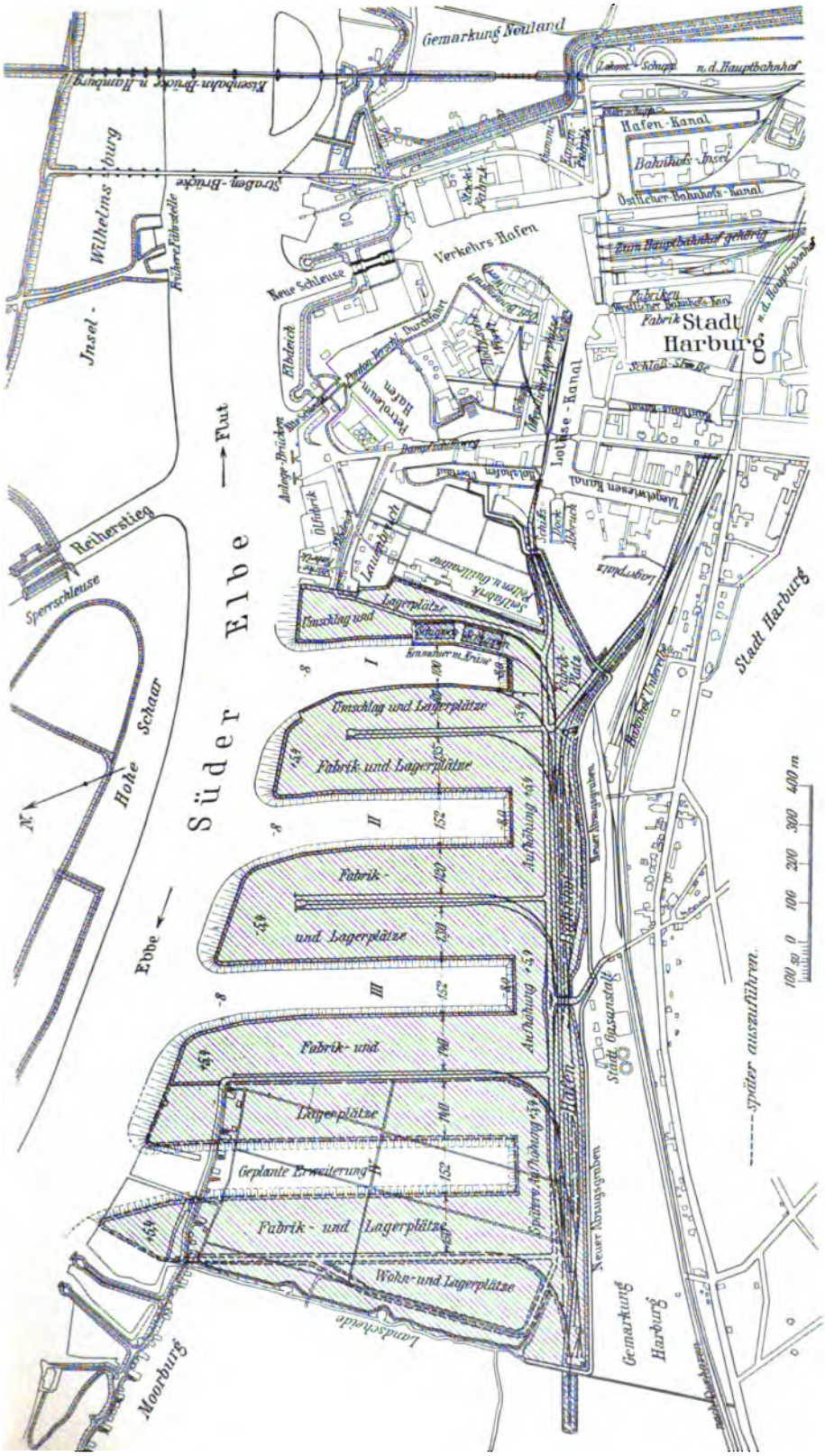


Abb. 34. Lageplan des Hafens von Harburg, Beispiel eines Binnenseehafens an der Nordsee und eines Großgewerbehafens.

Ansiedlung von Lagergeschäften und Fabriken bestimmt sind. Ihre mittlere Breite beträgt jederseits des Verkehrsstreifens 135 bis 150 m, so daß die Landflächen selbst für große Unternehmungen genügende Tiefe aufweisen. Auf dem Verkehrsstreifen haben eine 5 m breite, gepflasterte Fahrstraße mit Fußwegen und jederseits zwei durch Weichen verbundene Gleise Platz gefunden, von denen das an der Straße liegende als Verkehrsgleis und das andere als Ladegleis dient.

Unbenommen bleibt es den einzelnen Pächtern der Landzungen, eigene Gleisstränge davon abzuzweigen und in ihre Pachtflächen hineinzuführen. Auf der Landseite werden die Straßen auf den Hafenzungen von einer 12 m breiten Haupt-Hafenstraße und die Gleise in einen an das bestehende Eisenbahnnetz angeschlossenen Hafenbahnhof zusammengefaßt.

Durch die Anordnung der Straßen und Gleise an den Rückseiten der Lager- und Fabrikplätze bleibt den späteren Uferanliegern nach dem Wasser hin volle Bewegungsfreiheit, so daß sie nach Belieben Kaimauern, Bollwerke, Gebäude, Krane usw. bis an die Sohlenkante der Hafenbecken vorschieben können, ohne durch irgendwelche durchlaufende Verkehrseinrichtungen behindert zu sein. Eine besondere Stellung nimmt das erste Hafenbecken insofern ein, als es auch dem Umschlagsverkehr dienen soll und zu diesem Zwecke zunächst im südlichen Teile des Ostufers mit einer 230 m langen Kaimauer auf Pfahlrost, zwei Kaischuppen von je 100 m Länge und 40 m Tiefe mit Doppelgleisen vorn und hinten, einer 10 m breiten Straße und elektrisch betriebenen, fahrbaren Winkelportalkranen versehen werden soll, von denen zunächst nur ein halber Kaischuppen ausgeführt ist. In der gleichen Absicht sind die Eisenbahngleise, abweichend von den übrigen Hafenbecken, an dem ersten Becken unmittelbar an die Ufer herangeführt worden.

Für die erfolgreiche Ausnutzung der neuen Anlagen ist, wie für jeden Binnenseehafen, die zeitgemäße Ausbildung der Zufahrtstraßen auf dem Wasser von ausschlaggebender Bedeutung; in dieser Hinsicht lassen die Wege für die Binnenschiffahrt, der obere Teil der Süderelbe mit 60 m Sohlenbreite und 3 m Tiefe bei Mittelniedrigwasser und der von Harburg nach der Norderelbe bei Hamburg führende Reiherstieg mit mindestens 30 m Sohlenbreite und 3 m Tiefe unter Mittelniedrigwasser wenig zu wünschen übrig. Anders verhält es sich aber mit den Zugängen von See her, die durch die Süderelbe und ihren gegenüber Hamburg mündenden bedeutenden Nebenarm, den Köhlbrand, gebildet werden und bei Mittelhochwasser nur 6 m Tiefe besitzen. Beide sind daher für große Seeschiffe nicht tief genug, infolgedessen werde viele für Harburg bestimmte, von See her kommende Güter, in Hamburg in Leichter und Schuten gelöscht und mit diesen nach Harburg gebracht und umgekehrt. Eine angemessene Vertiefung des für die Seeschiffahrt besonders günstig gelegenen Köhlbrands, dessen 1,8 km langer unterer Teil im Hamburgischen Staatsgebiet liegt, stieß stets auf den Widerstand des Hamburgischen Staats, der daraus eine ungünstige Veränderung der Ebbewassermenge für die Norderelbe befürchtete; seine Vertiefung ist daher seit langer Zeit ein Gegenstand von Verhandlungen zwischen Preußen und Hamburg gewesen. Nach dem Köhlbrandvertrage von 1868 durfte die Tiefe des Köhlbrands aut 5 m unter Mittelhochwasser gebracht werden,

nach dem Staatsvertrage von 1896 wurde eine weitere Vertiefung um 1 m, also auf 6 m vereinbart. Mit dieser heute noch bestehenden Tiefe können die neuen 9,8 m tiefen Harburger Hafenanlagen durch Seeschiffe nicht ausgenutzt werden, da sie für große Seeschiffe unzugänglich bleiben. Nach langen erneuten Verhandlungen ist im Jahre 1909 ein Vertrag abgeschlossen worden, nach dem Hamburg für entsprechende Gegenleistungen die Köhlbrandmündung in eine für große Schiffe günstigere Lage zur Norderelbe verlegt und seine Vertiefung auf 10 m unter Mittelhochwasser gestattet. Auch kann dieses Maß später bis auf 14 m in gleichem Maße vergrößert werden, wie Hamburg die Norderelbe an der Köhlbrandmündung vertieft. Durch den Abschluß dieses Vertrages und die Ausführung der darin festgesetzten Arbeiten fällt für Harburg das letzte seiner Entwicklung entgegenstehende Hindernis und wird seine Zufahrtstraße der von Hamburg gleichwertig.

Bremen.[1]) Beispiel eines Binnenseehafens an der Nordsee, offen, Hafenanlagen zum größten Teile künstliche Becken, zum kleineren Flußufer, besonders gekennzeichnet durch vorherrschenden Umschlag von Seeschiff mit Eisenbahn.

Bei seiner rd. 100 km von der See entfernten Lage an der Weser ist Bremen mit seiner Hafenentwicklung auf die Beschaffenheit seiner Zufahrtstraße angewiesen. Diese besaß noch im Jahre 1885 nur eine nutzbare Tiefe von 3 m und wurde erst durch die gelungene Ausführung der Korrektion der Unterweser nach den Plänen von Franzius in den Jahren 1887 bis 1894 wesentlich verbessert. Zur Zeit können bei gewöhnlichem Hochwasser Schiffe mit 5,5 m Tiefgang in einer Tide bis Bremen hinauffahren und man beabsichtigt, dieses Maß auf 7,5 m zu steigern. Infolgedessen hat Bremen erst in den letzten Jahrzehnten seine Bedeutung als Seehafen wiedergewonnen, und stammen seine Hafenanlagen aus jüngster Zeit; dafür erscheinen sie aber wie aus einem Guß gefertigt und bilden für viele andere Häfen ein nachahmenswertes Beispiel. Hervorzuheben ist, daß der Verkehr nach dem Binnenlande in Bremen überwiegend durch die Eisenbahn vermittelt wird und daß daher die Ausstattung des Hafens mit Eisenbahnanlagen eine besonders umfangreiche, für ähnliche Fälle vorbildliche ist.

Die Bremer Hafenanlagen (siehe den Lageplan Abb. 35) bestehen sämtlich aus offenen Becken und setzen sich aus den einen Freibezirk bildenden Häfen I und II, aus den im Zollinlande belegenen Holz- und Fabrikhafen und dem Weserbahnhof, sämtlich am rechten Ufer der Weser belegen, und aus dem am linken Ufer liegenden Hohentorshafen und der kleinen Weser zusammen. Der im Jahre 1888 eröffnete Hafen I besteht aus einem 1850 m langen Becken von 120 m Breite und 7,5 m Tiefe bei gewöhnlichem Sommer-Hochwasser bezw. 5,5 m Tiefe bei Niedrigwasser.[2]) Im Winter und Frühjahr verringert sich die Größe des Flutwechsels und verschwindet bei starkem Hochwasser der Weser von oben her fast ganz. An den ganz mit Kaimauern eingefaßten Ufern liegen im allgemeinen zunächst zwei Eisenbahngleise, dann

[1]) Die bremischen Häfen, veröffentlicht von der Deputation für Häfen und Eisenbahnen zu Bremen 1905, woraus nachstehende Angaben zum großen Teil entnommen sind.

[2]) Bremer Null = + 2,284 über Normalnull; gewöhnliches Hochwasser in Sommerzeiten — 0,5 Br. N., gewöhnliches Niedrigwasser — 2,5 m Br. N.

folgen einstöckige Schuppen von 35 und 40 m Tiefe für den Durchgangsverkehr, darauf kommen wiederum zwei Eisenbahngleise und eine gepflasterte Straße, an der 30 m tiefe, mehrgeschossige Speicher für Dauerlagerung errichtet sind, an deren Rückseite wieder ein Eisenbahngleis liegt. In den 10 Kaischuppen steht eine Grundfläche von 81500 qm zur Verfügung, während die Speicher bei 22600 qm bebauter Fläche eine nutzbare Lagerfläche von 105000 qm besitzen. Von den Schuppen ist der Kaischuppen 10 für den Getreideverkehr bestimmt und mit dem dahinterliegenden zweistöckigen Schuppen *E* verbunden, der außerdem noch 10000 qm Grundfläche besitzt. Ferner kommt zu den angegebenen Zahlen noch der einstöckige Schuppen *D* für den Baumwollverkehr mit 5500 qm und der für den allgemeinen Verkehr bestimmte zweistöckige Schuppen *F* mit 10000 qm Grundfläche hinzu.

Zur Bewegung der Lasten dienen 83 hydraulisch betriebene verschiebbare Kräne mit 10 bis 12 m Auslegerweite und größtenteils 1,5 t Tragkraft; eine Anzahl haben 2,4 t, ferner je einer 4 t und 10 t Tragkraft.

Außerdem sind noch 2 feste Krane von 1,5 t Tragkraft und eine Kohlenverladevorrichtung von 26 t Tragkraft vorhanden. Weitere 15 Kräne dienen zur Beförderung der Waren zwischen Schuppen und Speicher und 37 hydraulische Aufzüge und 28 Winden erleichtern die Handhabung der Güter in den Gebäuden.

An der Hafenmündung gibt ein 100 m langes Schwimmdock nebst Werkstatt die erforderliche Ausbesserungsgelegenheit und am Hafenkopf dient eine Pontonanlage den

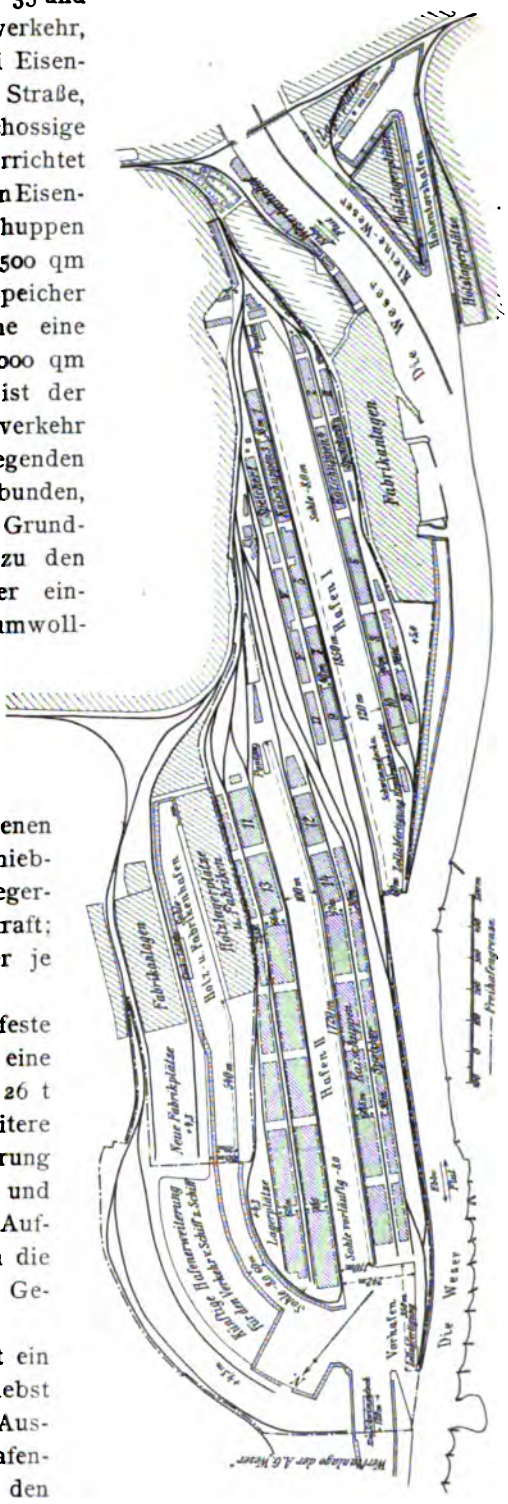


Abb. 35. Hafenanlagen von Bremen, Beispiel eines offenen Binnenseehafens an der Nordsee.

Personendampfern zum Anlegen. Zur schnellen Hilfe bei Feuersgefahr ist eine kleine, mit einer Gas- und einer Dampfspritze besetzte Feuerwache am Hafenkopf vorgesehen und außerdem ein ständig unter Dampf gehaltener Spritzendampfer am Hafenkopf in Dienst gestellt worden. Zahlreiche, etwa in 50 m Abstand aufgestellte Überflurhydranten gestatten den Anschluß von zwei Schläuchen der Dampfspritzen. Ein ausgedehnter Verschiebebahnhof liegt gleichfalls im Freibezirk und ist an den Güterbahnhof der preußischen Staatsbahn durch eine 1 km lange Verbindungsbahn angeschlossen.

In ähnlicher Weise wie Hafen I wird auch Hafen II ausgestaltet. Seine Länge beträgt 1720 m bei 110 m Breite am unteren und 100 m am oberen Ende; vor diesem Becken befindet sich ein Wendeplatz von 350 m Länge und 240 m Breite, an den ein 800 m langes und 275 m breites Becken für den Umschlagsverkehr von Schiff zu Schiff anschließt, das gleichzeitig den Zugang zu dem Holz- und Fabrikenhafen bildet.

In dem Hafenbecken II beträgt die Sohlentiefe 10,5 m unter Hochwasser und 8,5 m unter Niedrigwasser. Zur Besetzung der Kaiflächen dienen ebenfalls Reihen von Schuppen und Speichern, deren Tiefenabmessungen noch größer als bei Hafen I gewählt sind und bei den zunächst am oberen Ende ausgeführten vier Kaischuppen 66 bezw. 57 m betragen und bei den nach dem Hafenmund zu liegenden 70,5 bezw. 60,5 m erreichen werden; für die Tiefe der Speicher sind Maße von 23,55 bis 60 m angenommen. Auch die Gleisausstattung ist wie die bei Hafen I, nur ist beachtenswert, daß auf der oberen Hälfte drei Ufergleise angeordnet sind, von denen das an der Kaikante liegende als Verbindungsgleis für den unteren Hafenteil benutzt wird und gestattet, daß zwei Lokomotiven, unabhängig voneinander, auf derselben Seite das Zustellen und Abholen der Wagen besorgen können, wodurch die Auswechslung der Wagen in der 1¼ Stunden währenden Mittagspause sichergestellt werden soll.

Zum Löschen und Laden sind vorläufig 32 elektrisch betriebene, fahrbare Uferkrane mit 13 m Ausladung und 2,5 t Tragfähigkeit und außerdem ein Schwimmkran von 12 t Hebevermögen mit 12 m Ausladung angeschafft worden.

Vor Kopf beider Becken angeordnete Verwaltungsgebäude enthalten die Diensträume der Zollverwaltung, der Güterabfertigung und der Bremer Lagerhausgesellschaft, welcher der Betrieb der Kaischuppen, der Krane und Speicher übertragen ist.

Von dem Hafen II wurde vorerst der obere Teil fertiggestellt und im Jahre 1906 eröffnet, der weitere Ausbau erfolgt dem steigenden Verkehr entsprechend.

Auch in Bremen ist frühzeitig den besonderen Bedürfnissen des Großgewerbes durch Anlage eines Holz- und Fabrikenhafens Rechnung getragen worden, der, an den erwähnten Umschlagshafen anschließend, sich bei einer Breite von 80 m auf 1170 m Länge ausdehnt und schon 1891 eröffnet wurde. Seine Tiefe beträgt auf der Fabrikenseite 6,3 m, auf der Holzlagerseite 8,5 m unter Hochwasser. Für den Ausbau der Ufer mit Lösch- und Ladeeinrichtungen

haben im allgemeinen die Fabrikbesitzer selbst Sorge getragen. Auf der Südseite befinden sich 100 m tiefe Holzlager, die ebenso wie die Fabriken an der Nordseite Eisenbahnanschluß besitzen.

Einen besonderen Platz unter den Großgewerben hat die Schiffswerft der Aktiengesellschaft «Weser» erhalten, deren Anlagen sich an einen, von dem Vorhafen zu Hafen II zugänglichen, geräumigen Werfthafen angliedern, vergl. die näheren Angaben im zweiten Bande. Im oberen Teile des Werfthafens befindet sich ein Schwimmdock von 10 500 t Tragfähigkeit, dessen Vergrößerung auf 200 m Länge geplant ist; eine weitere Dockanlage ist an dem unteren Ende des Umschlagplatzes geplant. Am Kopfe des Holz- und Fabrikenhafens sind die gleichen Feuerlöschanlagen wie im Hafen I vorgesehen.

Von den übrigen Hafenanlagen Bremens ist der am rechten Weserufer unterhalb der Wesereisenbahnbrücke belegene «Weserbahnhof» zu erwähnen, an dessen 490 m langer, fast ganz mit Schuppen besetzter Kaimauer in erster Linie der Umschlagverkehr zwischen der Eisenbahn und den nach Bremerhaven gehenden Schleppkähnen des Norddeutschen Lloyd bewältigt wird. Eine Anzahl von 14 verschiedenartigen Kranen erleichtert die Handhabung der mit der Eisenbahn angekommenen Güter.

Am linken Weserufer ferner befindet sich der Hohentorshafen, zugänglich von der Einfahrt zur kleinen Weser her und gebildet aus zwei einen spitzen Winkel einschließenden Becken von 50 bezw. 70 m Breite. Die Hafensohle liegt so, daß Schiffe mit 5 m Tiefgang bei gewöhnlichem Niedrigwasser noch flott bleiben. Von den 2140 m langen Ufern ist etwa die Hälfte mit Spundwänden und dahinter ansteigenden Böschungen eingefaßt, ein 650 m langer Teil mit Kaimauern versehen und der Rest unbefestigt; alle Ufer sind von dem nahegelegenen Bahnhof Bremen-Neustadt her mit Eisenbahnanschluß ausgestattet. In diesem Hafenteil findet hauptsächlich ein Verkehr mit Massengütern, wie Holz, Reis, Steinkohlen usw. statt, zu dessen Erleichterung zehn von der Bremer Lagerhausgesellschaft aufgestellte Krane und zwei auf dem Kohlenlöschplatz von der Gasanstalt betriebene, elektrische Turmdrehkrane mit Selbstgreifereinrichtung von je 3,3 t Tragkraft dienen.

Endlich bildet die kleine Weser, ein toter Weserarm, ein nicht ausgebautes Hafenbecken von 3500 m Länge, das für kleinere Schiffe zugänglich ist und vornehmlich dem Holzverkehr dient, nebenher wird an einigen Stellen des Ufers das Löschen von Sand, Kies, Ziegelsteinen und Straßenbaustoffen vorgenommen. Ganz dem Schleppschiffahrtsverkehr mit der Oberweser vorbehalten sind die Lösch- und Ladeanstalten an der Holzpforte und an der Tiefer oberhalb der großen Weserbrücke.

Bei einem Überblicken der gesamten, in kurzen Zügen beschriebenen Hafenanlagen erkennt man, daß der leistungsfähigste Hauptteil durch die beiden großen Becken I und II mit ihrer neuzeitlichen Ausstattung und den ausgedehnten Eisenbahnanlagen gebildet wird. Im ganzen belief sich der Seeverkehr Bremens im Jahre 1907 auf 2599 Schiffe mit 1 477 000 Netto-Registertonnen Raumgehalt.

Bremerhaven. Beispiel eines geschlossenen deutschen Hafens an der Nordsee, gekennzeichnet als Anlaufhafen und durch die besondere Einrichtung seiner Hafenanlagen für die Bedürfnisse einer großen Schiffahrtsgesellschaft, Hafenbecken künstlich ausgehoben, Landflächen durch Eindeichung gewonnen; zu Bremen konjugierter Hafen.

Infolge der Unzulänglichkeit seiner Zufahrtstraße für größere, tiefgehende Schiffe sah sich Bremen schon im Anfang des vorigen Jahrhunderts in die Notwendigkeit versetzt, mehr nach See zu einen sicheren, für die Aufnahme der größten Schiffe bemessenen Hafen zu besitzen. Diese Erwägungen führten zu der Anlage des Hafenplatzes Bremerhaven, 65 km unterhalb der Stadt Bremen, dessen ältester Teil, der alte Hafen, schon im Jahre 1830 eröffnet wurde. An der gewählten Stelle beeinflußt das Oberwasser der Weser den Wasserstand nicht mehr merklich, vielmehr hängen die Wasserstände von den durch Ebbe und Flut hervorgerufenen Schwankungen ab; der gewöhnliche Flutwechsel beträgt 3,30 m, doch erheben sich Sturmfluten bis 3,50 m über das gewöhnliche Hochwasser, und fallen Niedrigwasser bis zu 5,50 darunter ab[1]). Diese Umstände veranlaßten die Wahl eines geschlossenen, durch Dockschleusen zugänglichen Hafens. Ein besonderer Vorzug der Hafenanlage besteht in der von der Weser an dieser Stelle gebildeten, ausgedehnten Reede mit 14 m Tiefe unter gewöhnlichem Niedrigwasser nebst gutem Ankergrund, auf der von den Schiffen die Öffnungszeit der Schleusen abgewartet werden kann. Im Laufe der Zeit wurden die Hafenanlagen dem vermehrten Bedürfnis entsprechend vergrößert[2]). Zu einer Verbreiterung des alten Hafens kam von 1847 bis 1852 der „Neue Hafen", vgl. Abb. 36, dessen Ausbau 1871 beendet wurde; hieran schloß sich, durch eine Schleuse verbunden, in den Jahren 1872 bis 1876 der Kaiserhafen, der von 1892 bis 1897 wesentlich erweitert und 1896 bis 1899 mit einer großen Schiffsausbesserungsanlage, einem Dockvorbecken, einem Ausbesserungsbecken und einem Trockendock versehen wurde.

Jeder dieser Hafenteile, auch die Erweiterung des Kaiserhafens hat eine besondere Hafeneinfahrt, die aus je einem an der Nordseite durch eine Mole geschützten, kleinen Vorhafen und bei dem alten Hafen und der Erweiterung des Kaiserhafens aus Kammerschleusen, bei dem Neuen Hafen und dem älteren Teile des Kaiserhafens aus Dockschleusen bestehen. Mit der Anlage der Hafenbecken wurde der alte Weserdeich beseitigt, auf das Schlick-Watt nach der Weser zu verlegt und an die Schleusen angeschlossen. Von den Hafenschleusen ist diejenige an der Erweiterung des Kaiserhafens ihrer bedeutenden Abmessungen wegen besonders hervorzuheben. Ihre Kammerlänge beträgt 200 m, als Nutzlänge zwischen den Toren kommt jedoch ein Maß von 223,2 m in Betracht; die lichte Breite beträgt in der Durchfahrt 28 m und in der Schleusenkammer 45 m, und die Drempeltiefe ist in ganzer Breite auf 10,56 m unter gewöhnlichem Hochwasser angelegt worden. In den einzelnen Becken

[1]) Bremerhavener Null = — 2,07 m unter Normal-Null; H.H.W. (1825) = + 7,04 m Brhv.P. G.H.W. = + 3,56 m; G.N.W. = + 0,26 m und N.N.W. (1900) = — 1,95 m Brhv. P. niedrigster Hafenwasserstand = + 2,0 m Brhv. P.

[2]) Die Bremerhavener Hafen- und Dockanlagen und deren Erweiterung in den Jahren 1892 bis 1899. Hannover 1903. Verlag von Gebrüder Jänecke.

wechselt die Breite zwischen 85 und 145 m, nur in der Erweiterung des Kaiserhafens wächst sie bis auf 285 m, um auch für 250 m lange Schiffe einen ausreichenden Wendeplatz herzustellen. Fast alle Ufer sind mit Kaimauern versehen, von denen 5,04 km für Schiffe nutzbar sind; 1750 m liegen davon im alten Hafen und dem benachbarten Teil des Neuen Hafens im Zollinland und 3290 in den übrigen Hafenteilen im Freibezirk. Dem Alter der Hafenbecken entspricht auch ihre Tiefe, indem sie von 7,06 m unter gewöhnlichem Hochwasser (+ 3,56 Brhv. U.) im alten Hafen bis auf 11,06 m im Kaiserhafen an zwei 200 und 220 m langen Liegestellen für die tiefgehendsten Fahrzeuge zunimmt. Außerdem befindet sich an der Einfahrt zur großen Kaiserschleuse, gleichlaufend mit der Weser, ein 200 m langer Tiefkai. Alle Hafenteile sind ferner durch Verbindungsbahnen mit der preußischen Staatsbahn Geestemünde—Bremen verbunden.

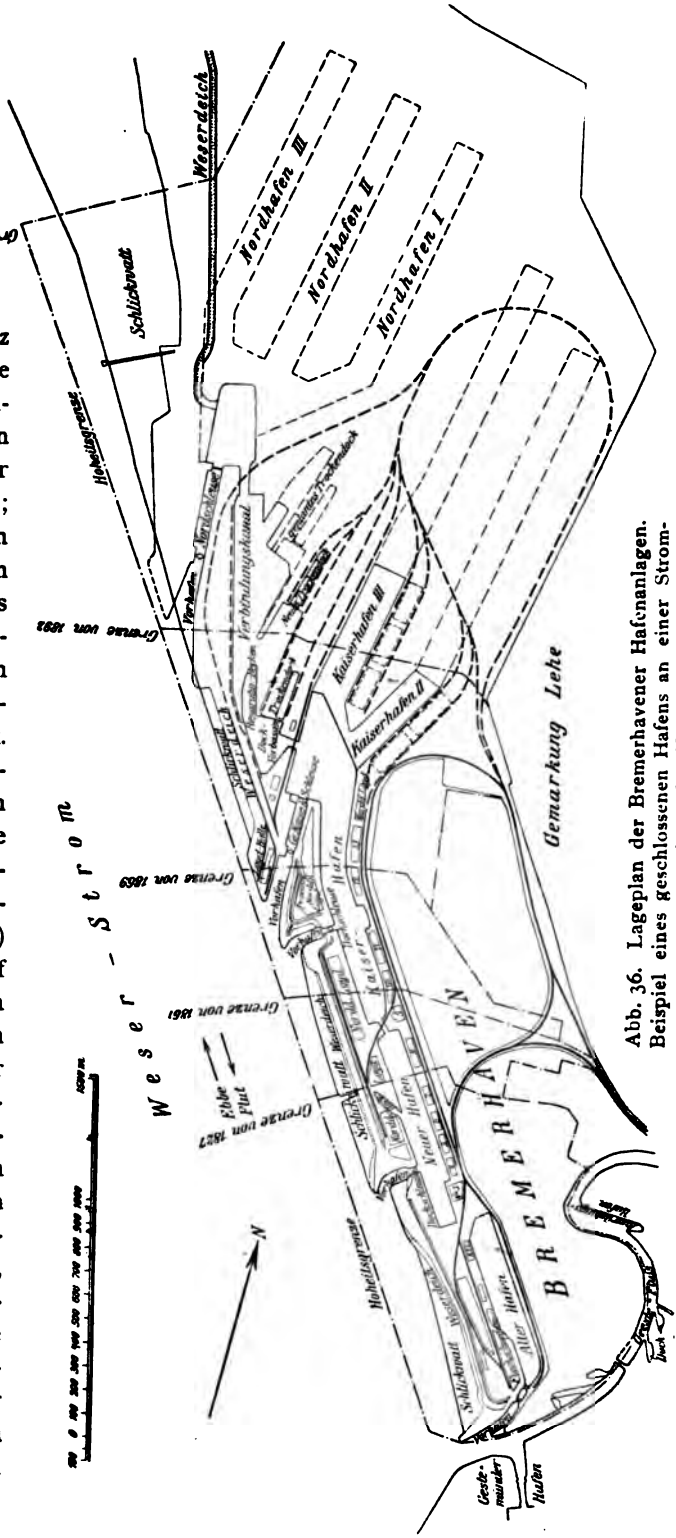


Abb. 36. Lageplan der Bremerhavener Hafenanlagen. Beispiel eines geschlossenen Hafens an einer Strommündung der Nordsee.

An der Westseite der Häfen liegen die Eisenbahngleise meist am Ufer, dann folgt eine gepflasterte Straße, an der Privatschuppen errichtet sind. An der Ostseite dagegen sind die Kaiflächen zunächst mit einer Reihe offener Hallen und Güterschuppen besetzt, hinter denen die Eisenbahngleise angeordnet sind, darauf folgt wieder eine Straße und dann Privatschuppen. Im ganzen sind an den drei Häfen 66 070 qm benutzbare Kaiflächen vorhanden, von denen 36 030 qm durch dem bremischen Staate gehörige Güterschuppen überbaut sind. Zur Handhabung der Güter dienen 14 verschiedene Krane mit Hand-, Dampf-, Druckwasser-, Gas- und elektrischem Antrieb; im wesentlichen bewerkstelligen jedoch die Dampfer, welche für die neueren Hafenanlagen Bremerhavens in Frage kommen, das Löschen und Laden der Güter, soweit es sich um die üblichen Lasten mittlerer Größe handelt, durch ihre eigenen an Bord befindlichen Hebezeuge.

Besonders erwähnenswert ist ein elektrisch betriebener Riesenkran von 150 t Tragkraft. Für Ausbesserungszwecke sind 2 Trockendockanlagen vorhanden; das ältere, dem Norddeutschen Lloyd gehörige Trockendock liegt am neuen Hafen und kann zwei Schiffe bis zu 114 und 138,7 m Länge aufnehmen; das neuere, staatsseitig erbaute Kaiserdock ist dem Norddeutschen Lloyd verpachtet und kann 228 m lange Schiffe docken, seine Einfahrtsbreite beträgt 28 m und die Drempeltiefe — 7,20 m Brhv. N. Außerdem befinden sich an der Geeste mehrere private Schiffbau- und Ausbesserungsanstalten.

Von den Hafenbecken nimmt der Norddeutsche Lloyd mit seinem Betriebe den westlichen Teil des Kaiserhafens und des Neuen Hafens bis zur Schleuse in Anspruch, dagegen steht die Ostseite dieser Häfen auch anderen Schiffen zur Benutzung frei. Im alten Hafen findet hauptsächlich der Orts- und Küstenverkehr seine Erledigung; an seinem Westufer sind die erforderlichen Einrichtungen zur Abwicklung des Hochseefrischfischereigeschäfts getroffen worden.

Abgesehen von diesen Zwecken untergeordneter Bedeutung, ist die Aufgabe der Bremerhavener Anlagen hauptsächlich in der eines Anlaufhafens für die tiefgehenden Schiffe des Norddeutschen Lloyd zu suchen, wodurch die notwendige Ergänzung und Vervollständigung der gesamten bremischen Häfen stattfindet.

Da mit der Zunahme der Zahl und Größe der den Bremerhavener Hafen aufsuchenden Schiffe die jetzigen Anlagen sich als unzureichend erwiesen, und zwar sowohl aus Mangel an Liegeplätzen für große und tiefgehende Schiffe und an genügenden und günstigen Dockgelegenheiten, als auch deswegen, weil die großen Schiffe auf eine einzige große Schleuse angewiesen sind, bei deren Versagen der ganze Verkehr lahmgelegt werden würde, so wurden im Jahre 1903 neue, umfangreiche Erweiterungen in Angriff genommen, die auf Abb. 36 dargestellt sind. Danach werden die neuen Häfen aus zwei Gruppen von Hafenbecken bestehen, von denen die eine aus zwei Becken zu bildende sich an die jetzige Kaiserschleuse anschließt, und die andere aus drei Becken geplante durch eine neue Nordschleuse zugänglich sein wird. Beide Gruppen werden durch einen Verbindungshafen, an dessen Ostseite zwei große Trockendocks und die Werkstätten des Norddeutschen Lloyd Platz

finden, vereinigt, so daß nach Vollendung der Schleuse ein doppelter Zugang für große Schiffe vorhanden ist.

Die Nordschleuse erhält 250 m Länge, 35 m Breite in den Häuptern und 50 m in der Kammer; ihre Drempel werden 8 m unter Bremerhavener Null liegen, d. h. 11,6 m unter gewöhnlichem Hochwasser. Für den Vorhafen der Schleuse ist eine Breite von 65 m bei 250 m Länge festgesetzt worden, so daß an dem Kai ein großes Schiff zur Abreise fertig liegen kann, während ein anderes durch die Schleuse geht.

Als Breite ist für die Hafenbecken ein Maß von 125 m und für die Landzungen ein solches von 200 m in Aussicht genommen worden; die Kaischuppen sollen 50 m breit werden.

Zunächst soll nur der auf Abb. 36 durch ausgezogene Linien dargestellte Teil der geschilderten Anlagen ausgeführt werden und mit den übrigen gestrichelt gezeichneten Teilen nach Bedarf vorgegangen werden. Durch diese Pläne wird der Entwicklung Bremerhavens bis in ferne Zeiten genügt werden können. Hervorzuheben ist bei den neueren Anlagen die geschickte Anlage der Schleusen und die zweckmäßige, die Uferfront ausnutzende und leicht zugängliche Lage der Hafenbecken. Die zur Ausführung der Hafenerweiterungen jedesmal erforderlichen Gebietsabtretungen Preußens sind ebenfalls auf Abb. 36 erkennbar; sie geben ein deutliches Bild von der Entwicklung des Hafens in den einzelnen Zeitabschnitten.

Hamburg. Beispiel eines erstklassigen Binnensee-Handelshafens im Ebbe- und Flutgebiet mit offenen Hafenbecken, zum größten Teil künstlich gegraben mit besonders umfangreicher Berücksichtigung der Bedürfnisse des Umschlags von Seeschiff zu Flußschiff und einiger großer Schiffahrtsgesellschaften. Tidehafen.

Als größter Seehafen des Festlandes stellt Hamburg in seinen ausgedehnten Hafenanlagen einen besonders dankenswerten Studiengegenstand dar; es muß an dieser Stelle aber, um im Rahmen des Buches zu bleiben, davon Abstand genommen werden, eine genaue Beschreibung aller Hafeneinrichtungen zu geben, vielmehr mag es genügen, in großen Zügen die Hauptkennzeichen dieses gewaltigen Handelshafens an Hand des Lageplans, Abb. 37, vorzuführen; auf einige wichtige Einzelheiten wird in den späteren Kapiteln und im zweiten Bande näher eingegangen werden.

Seine besondere Kennzeichnung erhält der Hamburger Hafen einerseits durch seine Lage als Binnenseehafen an einem großen Strome, der Elbe, rd. 105 km von der See entfernt, andererseits dadurch, daß von ihm aus die Mehrzahl der Güter auf Flußschiffen in das an die Elbe anschließende, weitverzweigte Binnenwasserstraßennetz eindringt und umgekehrt. Bei der Gestaltung der Hafenanlagen mußte infolgedessen auf den bedeutenden Flußschiffverkehr mehr als anderswo Rücksicht genommen werden.

Hamburgs Zufahrtstraße von See her weist heute durch künstliche Verbesserungen bei mittlerem Hochwasser eine Tiefe von 10 m auf und gestattet daher großen Seeschiffen das Hinaufgehen bis zur Stadt, ein Umstand, der für die Bemessung der Hafenanlagen maßgebend ist; eine Vergrößerung der Wassertiefe der Unterelbe auf 10 m unter Mittelniedrigwasser wird angestrebt. Durch Ebbe und Flut werden im Hamburger Hafen regelmäßige

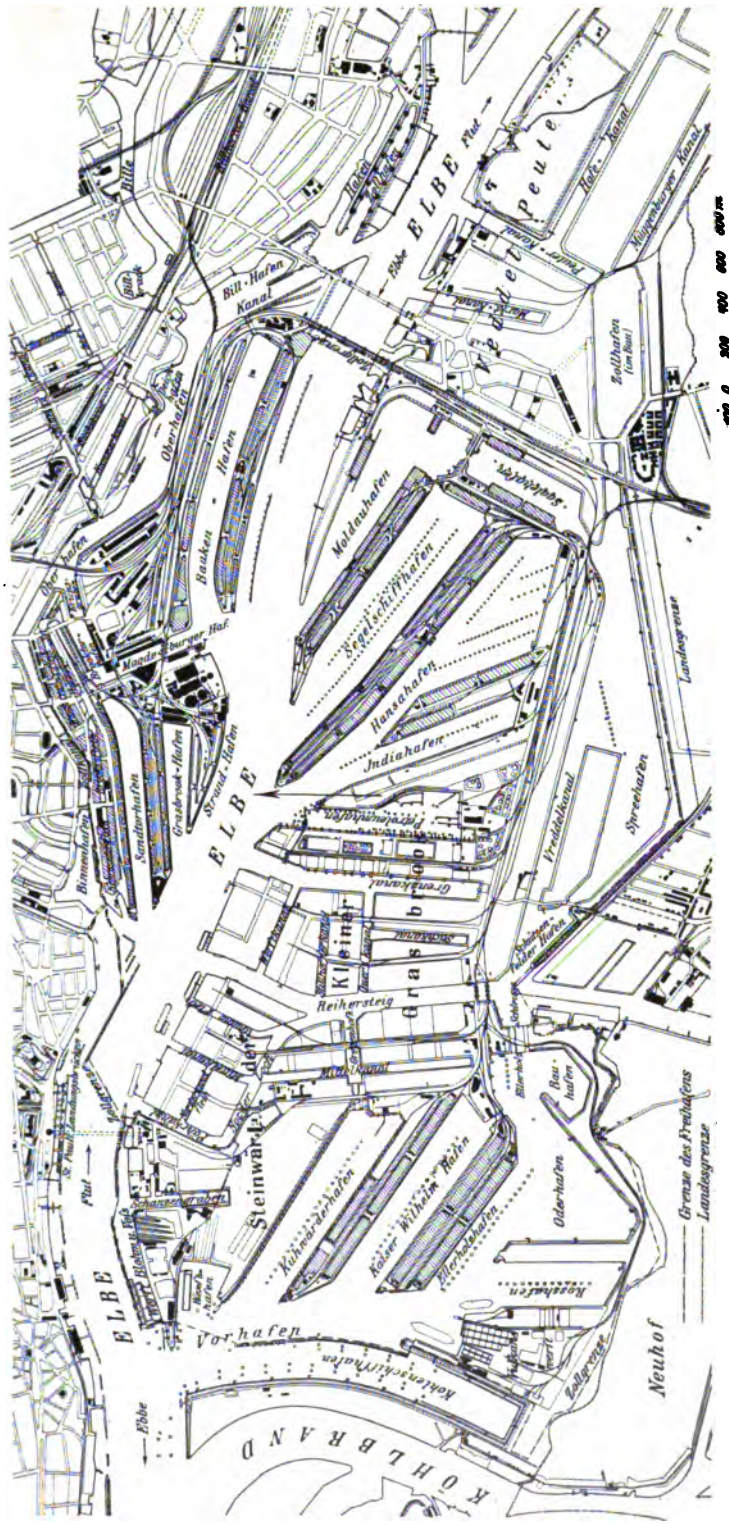


Abb. 37. Lageplan des Hafens von Hamburg. Beispiel eines Binnenseehafens im Ebbe- und Flut-Gebiet.

Wasserstandsschwankungen erzeugt; da der Flutwechsel aber im Mittel nur 1,8 m[1]) beträgt und ferner der Schlickfall nur ein geringer ist, so war die vorteilhafte Anlage offener Hafenbecken, sogenannter Tidebecken, möglich; hierdurch entsteht der große Vorzug, daß alle Hafenbecken durch weite Öffnungen jederzeit leicht zugänglich sind.

Alle den heutigen Hamburger Hafen bildenden Anlagen gehören der neuesten Zeit an und sind erst in den letzten 50 Jahren entstanden. Bis zum Jahre 1866 bestanden für den Verkehr der Seeschiffe nur Reihen von Dalben, an denen die Schiffe, wie vielfach auch heute noch, festmachten und ohne besondere Vorrichtungen in flachgehende, offene Schuten löschten. Durch diese Fahrzeuge erfolgte dann die Beförderung auf zahlreichen Kanälen, Stromarmen und Fleeten von und nach den in großer Zahl durch die ganze Stadt zerstreuten Speichern.

Erst von dieser Zeit an entwickelten sich die heutigen großen, mit allen Einrichtungen zur Erleichterung des Verkehrs vollkommen ausgestatteten Hafenanlagen, und besonders schnell vergrößerte sich die Ausdehnung des Hafengebiets, seit im Oktober 1888 der Anschluß Hamburgs an das deutsche Zollgebiet erfolgte; gleichzeitig wurden viele der in der Stadt belegenen Speicher in zollfreie Niederlagen umgewandelt und nur der eigentliche Seehafen als Freihafen begrenzt.

Bei einem Überblick über die gesamten Hafenanlagen erkennt man zunächst, daß die für den Seeschiffverkehr bestimmten Anlagen sich zu beiden Seiten der das Hafengebiet durchziehenden Norderelbe anordnen und von dieser auf dem kürzesten Wege leicht zugänglich sind. Umrahmt werden sie an beiden Rändern von den für den Flußschiffverkehr eingerichteten Hafenteilen (Abb. 37).

In der Reihenfolge ihrer Entstehung sind für Seeschiffe angelegt: am rechten Elbeufer der Sandtorhafen, der Grasbrookhafen, der Strandhafen und der Baakenhafen. Daran schließen sich auf dem linken Ufer der Segelschiffhafen, der Hansahafen, der Indiahafen und der Petroleumhafen an. An diese Hafenbeckengruppe, getrennt durch die von vielen Kanälen durchzogenen Gebiete, Kleiner Grasbrook und Steinwärder, schließen dann die neuesten, erst in diesem Jahrhundert vollendeten Hafenteile, der Kuhwärderhafen, der Kaiser-Wilhelm-Hafen, der Ellerholzhafen und südlich davon der im Bau begriffene Roßhafen an. Noch weitere Anlagen sind weiter unterhalb auf Finkenwärder geplant. Von diesen Häfen besitzen die ältesten, Sandttor- und Grasbrookhafen, nur 7 bis 8 m, die jüngeren, Segelschiff- und Hansahafen, 8,5 bis 9,5 m und die neuesten Teile auf Kuhwärder 10 m Wassertiefe unter mittlerem Hochwasser. Alle diese Hafenbecken sind zum größten Teile mit Kaimauern eingefaßt und von breiten Kaiflächen umgeben, auf denen Schuppen, Gleise und Straßen der Lagerung, Verteilung, Ab- und Zufuhr der Güter dienen. Im ganzen sind für den Seeschiffverkehr 22,1 km Kais ausgebaut und 29,9 km Kai- und Uferstrecken vor-

[1]) Hamburger Null = — 3,54 m unter Normal-Null; Mittelhochwasser = + 5,08 m H. N., Mittelniedrigwasser = + 3,26 m H. N.

handen. Von den 77 Kaischuppen sind viele aus Holz und an der Wasserseite offen, andere in gemischter Bauweise und auf beiden Seiten geschlossen hergestellt worden; ihre Breite wechselt zwischen 15 und 50 m und ihre Länge zwischen 110 und 400 m, ihre Fußboden liegen rd. 1,1 m über dem Straßenpflaster und den Gleisen; die insgesamt vorhandene überbaute Kaifläche beträgt zur Zeit 405 000 qm.

Eine große Anzahl von Speichern dient ferner der Dauerlagerung von Gütern; außer vielen Privatspeichern auf Steinwärder und dem kleinen Graasbrook sowie in der Stadt sind besonders die großen Speicher der Freihafen-Lagerhausgesellschaft zu erwähnen. Vor diesen liegen im eigentlichen Hafengebiet an tiefem Wasser nur die beiden 6- bezw. 12geschossigen, vom Staate erbauten und an genannte Gesellschaft verpachteten Kaispeicher *A*, an der Spitze der Landzunge zwischen Sandtor- und Grasbrookhafen und der Kaispeicher *B* am Brooktorhafen. Alle übrigen Speicher liegen vorwiegend an Kanälen und Fleeten mit geringerer Wassertiefe, da eine unmittelbare Verladung zwischen Seeschiff und Lagerspeicher nur selten vorkommt, vielmehr die Waren zunächst in die Schuppen zur Verteilung auf Eisenbahn, Flußschiff oder Speicher gebracht und von diesen aus durch Schuten den Speichern zugeführt werden. Die Lagerhäuser der Freihafen-Lagerhausgesellschaft besitzen 6 bis 8 Geschosse und sind für die Bewegung der Güter mit hydraulisch betriebenen Kranen und Aufzügen versehen.

Durch weiteren Ausbau der Wandrahm-Insel mit Kanälen, Straßen und Speichern und ferner durch Neubauten auf dem linken Elbeufer wird das Speichergebiet bedeutend vergrößert. Zur Zeit bestehen an Speicherlagerflächen in den Kaiserspeichern *A* und *B* 41 000 qm, in den übrigen Speichern der Lagerhausgesellschaft 340000 qm und am Moldauhafen rd. 100 000 qm, zusammen also 481 000 qm Lagerfläche.

Außerordentlich reichlich ist ferner die Ausrüstung der Seeschiffkais mit Kranen. Im ganzen sind an den Wasserfronten der Kaiflächen 667 fahrbare Krane, von denen die älteren sich auf einem in Kaihöhe liegenden Gleis bewegen, die neueren dagegen als Halb- oder Ganzportalkrane ausgebildet sind, so daß sie den freien Verkehr am Kai nicht hindern. Von den Kranen sind 273 als Dampfkrane mit 1,5 bis 2,5 t, 285 als elektrische Krane mit 2,5 bis 3 t und 109 als Handkrane mit 1 t Tragkraft ausgestattet worden.

Außerdem sind noch verschiedene feste Krane vorhanden, von denen der große Dampfdrehkran von 150 t Tragkraft am Kranhöft besondere Erwähnung verdient, und an den neuen Häfen auf Kuhwärder drei elektrisch betriebene Kohlenkipper für Eisenbahnwagen.

Da im Hamburger Hafen der Umschlag der See- auf Flußschiffe eine überwiegende Rolle spielt, so sind die Hafenbecken so breit bemessen, daß in ihnen eine oder mehrere Dalbenreihen zum Festmachen der Seeschiffe hergestellt werden konnten; dadurch wird erreicht, daß für den unmittelbaren Umschlag von Schiff zu Schiff kein Platz am Kai beansprucht wird.

Ein ausgedehntes, 202 km langes Netz von Eisenbahngleisen bringt die Kais mit den Bahnhöfen der Hauptbahnen in Verbindung. Zur Abgrenzung des

Freihafens dienen sowohl feste Zäune als auch schwimmende Schranken, auf Abb. 37 durch eine starke, strichpunktierte Linie dargestellt.

Für den Verkehr der Personendampfer ist eine besondere schwimmende, zweistöckige Landungsanlage in St. Pauli vor kurzem neu eingerichtet worden, die durch das obere Stockwerk auch für größere Dampfer und Viehverladung geeignet ist.[1]) Außerdem dienen zahlreiche kleine schwimmende Landungsbrücken zum Anlegen der den lebhaften Personenverkehr im Hafen vermittelnden Fährdampfer. Zur Zeit befindet sich zur Erleichterung des Personen- und Fuhrwerkverkehrs ein Tunnel unter der Elbe, von dem St. Pauli-Landungsplatze nach Steinwärder führend, im Bau.[2])

Wie schon erwähnt, sind außer für den Seeschiffverkehr auch für Flußschiffe umfangreiche Einrichtungen vorhanden. Für Flußschiffe, die den Freihafen nicht aufsuchen wollen oder nach Orten unterhalb Hamburgs bestimmt sind, ist am rechten Elbufer eine zusammenhängende Wasserstraße im Zollinlande durchgeführt worden, die der Reihe nach aus dem Oberhafenkanal, dem Oberhafen, dem Zollkanal, dem Binnenhafen und dem durch die schwimmenden Schranken vom Freihafen abgetrennten Bett der Elbe besteht (vgl. Abb. 37). An diesen Wasserflächen befinden sich zahlreiche, für den Flußschiffverkehr ausgebaute Ufer und Anlagen zur Abwicklung des Zollgeschäfts, ferner sind von ihnen aus die zahlreichen Kanäle in der Stadt zugänglich. Auf dem linken Elbeufer sind die Anlagen für den Flußschiffverkehr in neuester Zeit ebenfalls bedeutend erweitert worden; sie befinden sich, im Gegensatz zu den Hafenteilen am rechten Elbeufer, zum größten Teil im Freihafen und sind durch kurze Verbindungskanäle mit den Seeschiffbecken in bequeme Verbindung gebracht. Zu beachten ist, daß alle Seeschiffbecken mit einer breiten Einfahrt unter einem sehr spitzen Winkel von der Elbe abzweigen, und daß die Mehrzahl der Becken vom oberen Ende her für Binnenschiffe zugänglich ist, so daß eine Kreuzung des See- und Binnenschiffverkehrs nicht stattzufinden braucht. Für den Flußschiffverkehr bestimmt sind der Moldauhafen, der Saalehafen, der neuerdings vergrößerte Spreehafen und der Veddelkanal, ferner der Klütjenfelderhafen und südlich vom Ellerholzhafen der neu erbaute Oderhafen.[3]) Ein weiterer, neben dem Köhlbrand und im Zollinland gelegener Flußschiffhafen ist der frühere Schutenhafen, der jetzt zu einem besonderen Kohlenschiffhafen hauptsächlich für englische Kohlendampfer ausgebaut wurde Ferner ist vor kurzem zur Entlastung des Elbstromes von dem Flußschiffverkehr innerhalb des Freihafens eine besondere Wasserstraße hergestellt worden, die, von den neuen Häfen auf Kuhwärder beginnend, durch den Oderhafen und die Ellerholzschleusen, ferner durch den Veddelkanal und nach Kreuzung der Zollgrenze, der Landstraße und der Eisenbahn durch den Müggenburgerkanal etwa 3 km oberhalb der großen Elbbrücken mit zwei Schleusen in die Elbe einmündet. An der Zollgrenze ist in dieser Wasserstraße ein geräumiger Hafen zur zollamtlichen Behandlung der Flußschiffe angelegt worden.

[1]) Deutsche Bauzeitung 1909, S. 8 u. f.

[2]) Zentralblatt der Bauverwaltung 1904, S. 301. Österreichische Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst v. 9. April 1910.

[3]) Bubendey-Schulze, Bericht über die neuesten Arbeiten, die in den hauptsächlichsten Seehäfen ausgeführt sind. X. Internationaler Schiffahrts-Kongreß in Mailand 1905.

Im ganzen sind an Wasserflächen für Flußschiffe 99,8 ha mit 34,0 km Kai- und Uferstrecken vorhanden, zu denen noch die Fläche der Kanäle und Seitenarme mit 69,3 ha kommt.

Die Gesamtfläche aller Teile des Hamburger Hafens, einschließlich des einbezogenen Stückes der Elbe nebst den Hafenzugängen mit 114,9 ha, beträgt rd. 519 ha.

Innerhalb des Freigebiets vervollständigen eine größere Anzahl von Privatschiffswerften die Einrichtungen des Hamburger Hafens und geben durch ihre Patentslips, Schwimm- und Trockendocks reichliche Gelegenheit zur Ausbesserung und zum Bau von Schiffen; die bedeutendsten davon sind die Schiffswerften von Blohm u. Voß, deren großes Schwimmdock 35 000 t Tragkraft besitzt und damit die größten Kriegs- und Handelsschiffe heben kann, und die der Vollendung nahe Werft der Stettiner Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft „Vulkan".

Mehrere Fabriken im Freihafen ziehen Vorteil aus ihrer günstigen Lage im Zollauslande und in einem großen Handelshafen.

Im Hamburger Hafen verkehrten im Jahre 1907 von See her 14 345 Schiffe mit 11,90 Millionen Netto-Registertonnen Raumgehalt, von diesen benutzten rd. 35 vH. die Schiffkais, die übrigen 65 vH. luden von Seeschiff zu Schiff um. Die Gesamtgüterbewegung seewärts betrug in Einfuhr 14,7 Millionen Tonnen und in Ausfuhr 6,1 Millionen Tonnen, mithin im ganzen 20,8 Millionen Tonnen.

Kuxhaven. Beispiel eines offenen Mündungshafens im Ebbe- und Flutgebiet, Anlaufhafen für große Überseedampfer, außerdem Fischerei- und Zufluchtshafen, Hafenbecken künstlich gegraben. Zu Hamburg konjugierter Hafen.

Außer zu einem Fischereihafen und Zufluchtshafen für kleinere Fahrzeuge ist Kuxhaven für die Abfertigung großer Dampfer der Hamburg-Amerika-Linie ausgebaut worden. Da die Unterelbe zur Zeit nur bei Hochwasser 10 m Tiefe besitzt, so können die an bestimmte Abfahrtzeiten gebundenen großen Schnelldampfer nicht bis Hamburg hinaufgehen, zudem wird durch Antritt der Fahrt in Kuxhaven der Seeweg um rd. 100 km abgekürzt; ferner kann heftiger Eisgang das Vorhandensein eines Zufluchthafens unmittelbar an der Elbemündung erwünscht erscheinen lassen. Alle diese Gründe führten dazu, die Hamburger Hafenanlagen durch entsprechende Bauten in Kuxhaven zu vervollständigen. Zu dem Zweck wurde in den Jahren 1892 bis 1897 der durch Abb. 26 auf Seite 51 im Lageplan wiedergegebene Hafen angelegt.[1]) Um seinem Zweck als Zufluchthafen und Anlaufhafen zu genügen, mußte der Hafen jederzeit zugänglich und benutzbar sein.

Diese Bedingung führte zur Anlage eines offenen Tidehafens mit zwei unmittelbar am tiefen Wasser liegenden Kais. Das Hafenbecken besitzt eine quer zur Stromrichtung liegende, 100 m weite Einfahrt, die sich in dem daran anschließenden 300 m langen Vorhafen auf 250 m vergrößert. An den Vorhafen schließen nach dem Entwurf zwei gleichlaufende, 80 m breite Hafenbecken, deren Länge bis auf 600 m ausgedehnt werden kann und zwischen denen eine Landzunge von 90 m Breite verbleibt. Zunächst ist jedoch nur das westliche

[1]) Zeitschrift für Bauwesen 1898, S. 383, Hugo Lentz. Der neue Hafen in Kuxhaven. — Zentralblatt der Bauverwaltung 1907. S. 310.

Becken auf 300 m Länge ausgebaut und mit Kaiflächen von 120 bezw. 130 m Breite versehen worden. Da die Einfahrt bei starker Ebbe oder Flutströmung für große Schiffe nur mit Gefahr durchfahren werden kann, so sind die beiden je 120 m langen Hafenköpfe zum Anlegen großer Schiffe eingerichtet und so weit in den Strom vorgeschoben worden, daß an ihnen bei Mittelniedrigwasser noch 11,5 m Wassertiefe vorhanden ist. Eine weitere Landungsanlage im Strom ist für die Hamburg-Amerika-Linie unterhalb des westlichen Hafenkopfes angelegt worden. Als Wassertiefe im Hafen wurde ein Maß von 9 m unter Mittelniedrigwasser festgesetzt. Von den Hafenufern sind rd. 1200 m mit Kaimauern auf hohem Pfahlrost versehen worden, deren Oberkante 5 m über Mittelniedrigwasser, mithin nicht sturmflutfrei liegt, doch werden die Böden der zu erbauenden Schuppen etwa 1,40 m höher und damit hochwasserfrei sein. Für bequemen Gleisanschluß mit dem vorhandenen Bahnhof ist Sorge getragen und die ganze Anlage ferner durch hochwasserfreie Deiche eingeschlossen worden.

Die Anlagen haben nicht ganz die geplante Benutzung erfahren, da die großen Passagierdampfer der Hamburg-Amerika-Linie die Zwischendecker, Güter und Bunkerkohlen vor Brunshausen an Dalben vertäut übernehmen und die Kajütpassagiere, das Gepäck und die Post auf offener Reede vor Kuxhaven ankernd empfangen.

Rotterdam.[1]) Offener Binnenseehafen im Ebbe- und Flutgebiet; Hafenanlagen zum Teil ausgebaute Ufer an breiten Stromflächen, zum Teil künstlich gegrabene Becken. Überwiegend Umschlag von Seeschiff- zu Fluß- und Kanalschiff; Tidehafen.

Von den holländischen Häfen besitzt Rotterdam infolge seiner Lage an der neuen Maas und der Verbindung mit dem Rhein eine ausgezeichnete Wasserverbindung mit einem reichen und ausgedehnten Hinterlande. Durch Herstellung einer neuen Mündung der Maas mittels Durchstechung des Hoek van Holland und ausgedehnter Baggerungen wurde von See her eine jederzeit zugängliche Einfahrt geschaffen, durch welche Schiffe bis 8,5 m Tiefgang bei Mittelhochwasser in zwei Stunden sicher den Hafen erreichen können Damit wurde der Grundstein zu der heutigen Bedeutung Rotterdams gelegt. Den im Jahre 1863 beschlossenen und im Jahre 1866 begonnenen Arbeiten, welche bis zum Jahre 1879 und darüber hinaus gedauert haben, ist ein voller Erfolg beschieden gewesen. Unterstützt wird die Offenhaltung der neuen Mündung durch das Vorhandensein von Ebbe und Flut, deren Hub am Hoek van Holland im Mittel 1,60 m und in Rotterdam noch 1,30 m beträgt und deren Kraft durch entsprechende Bauten vermehrt und zusammengehalten wird Der geringe Flutwechsel begünstigte die Anlage offener, großenteils mit der Mündung stromab gerichteter Hafenbecken mit breiten bequemen Einfahrten. Noch mehr wie in Hamburg findet in Rotterdam Umschlag von See- zu Binnenschiff statt, so daß weniger ausgedehnte Kaiflächen, als vielmehr geschützte und tiefe Liegeplätze mit Dalben und Festmachetonnen dem Hafen sein kennzeichnendes Gepräge verleihen (Abb. 38). Rotterdam ist infolge dieses Verkehrs mehr Durchgangshafen als Handelshafen und gewährt infolge seiner

[1]) G. J. de Jongh, Le port de Rotterdam 1906.

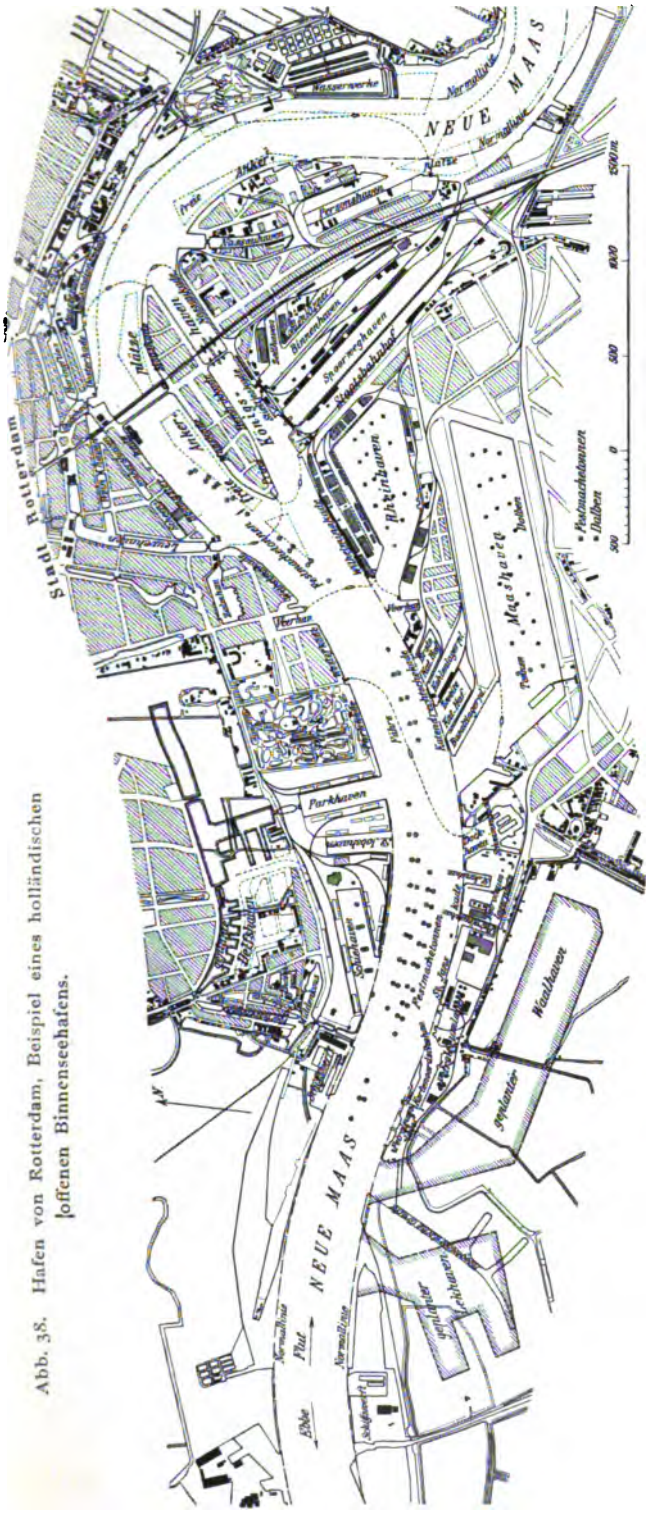


Abb. 38. Hafen von Rotterdam, Beispiel eines holländischen offenen Binnenseehafens.

günstigen Verhältnisse großen Schiffen sicheres Einlaufen und schnelle Entladung; nur 10 vH. der in Rotterdam ankommenden Güter werden durch die Eisenbahn zugeführt. Als Hauptbestandteil des Hafens ist zunächst die Maas selbst zu erwähnen, auf deren unterem Teil an 29 Paar Festmachetonnen 29 große Schiffe liegen und in völliger Sicherheit überladen können, während der obere Teil in der Nähe der Maaseisenbahnstation ausgedehnte freie Ankerplätze für Flußschiffe enthält (auf Abb. 38 durch gestrichelte Linien umgrenzt). Auf dem rechten Maasufer dienen mit Kaimauern eingefaßte Uferstrecken, wie die Maasstationskade, die Oosterkade, die Boompjes-, Willems-, Wester- und Parkkade mit Tiefen von 3,5 bis 7 m unter Mittelniedrigwasser zum Löschen von Holz und zum Anlegen der regelmäßigen Dampferlinien für Waren und Güter nach dem Inlande und den europäischen Häfen. An diese schließen in der Nähe der Maasstation die ältesten Hafenbecken Rotterdams an, wie der

Oudehaven, der Haringvliet, der Wynhaven, der Leuve-, Scheepmakers-, Zalm- und Veerhaven an, die sämtlich nur geringe Tiefe besitzen und hauptsächlich für den Markt- und anderen Kleinschiffsverkehr benutzt werden.

Für Seeschiffe haben auf dem rechten Ufer die weiter unterhalb folgenden Becken, der Parkhaven mit 7 bis 8 m, der St. Jobshaven und der Schiehaven mit 8,5 m Tiefe unter Mittelniedrigwasser, deren Ufern mit Kaimauern, Eisenbahnanschluß und Schuppen versehen sind, erst wieder Bedeutung, weniger dagegen die an der Schiemündung gelegenen Hafenbecken der früheren Gemeinde Delfshaven.

An den Ufern des gegenüber der alten Stadt liegenden Noordereilands mit Tiefen von 3 bis 6 m verkehren die Dampfschiffe für den Verkehr nach Deutschland und Belgien.

Den Schwerpunkt des Rotterdamer Hafens bilden die Anlagen auf dem linken Maasufer. Außer den befestigten, 6 bis 8,5 m tiefen Flußufern, wie der Stieltjeskade, der Wilhelminakade, an der die Holland-Amerika-Linie und der Rotterdamer Lloyd ihre Anlagen haben, ferner der Katendrechtsche Kade und der St. Janskade, wo verschiedene Petroleumgesellschaften sich niedergelassen haben, befinden sich hier für den Verkehr mit der Eisenbahn die ausgedehnten Becken des Binnenhafens, des Entrepothavens und des Spoorweghavens mit 6 bis 7,5 m Wassertiefe unter Mittelniedrigwasser. Daran schließen die hauptsächlich für den Umschlagsverkehr von Schiff zu Schiff bestimmten großen Flächen des Rijnhaven von 30 ha und des Maashaven von 58 ha Größe mit 7 bis 8,5 m Wassertiefe an. Außer an den Kaimauern machen die Seeschiffe in diesen Becken an mehreren Dalbenreihen zum Überladen in die Rheinschiffe fest, und erklärt sich dadurch die im Verhältnis zur Wasserfläche verhältnismäßig kleine Länge der Ufermauern. Bei beiden Becken beträgt die Weite der Einfahrt 140 m und die größte Breite 450 bezw. 320 m. Aber dem gewaltigen Flußschiffverkehr, der im Jahre 1905 die Menge von 139 150 Binnenschiffen mit einem Fassungsraum von 22,5 Millionen Tonnen umfaßte,[1]) genügen die bestehenden Anlagen nicht mehr; infolgedessen sind weitere Vergrößerungen durch den Waalhaven mit ähnlichen Abmessungen wie der Maashaven und durch den Leckhaven in Aussicht genommen; ferner schweben Erweiterungspläne auf der rechten Stromseite im Anschluß an den Parkhaven.

Abgesehen von der Wasserfläche des Koningshaven und des Stromes, besitzt der Rotterdamer Hafen im ganzen rd. 87 ha Hafenbecken und 40,4 km Kais.

Entsprechend dem überwiegenden Umschlagsverkehr ist die Kranausrüstung des Hafens nur eine verhältnismäßig geringe, am vollkommensten ist sie noch an den Ufern des Binnen-, Spoorweg- und Rijnhavens sowie der Wilhelmina- und Stieltjeskade. Im ganzen sind 99 Krane verschiedener Art und verschiedenen Antriebs aufgestellt. An den gleichen Becken befinden sich der Hauptsache nach auch nur Kaischuppen und Lagerhäuser mit 111 500 und 32 700 qm benutzbarer Fläche, ebenso sind sie am vollkommensten mit Gleisen

[1]) M. de Smet de Nayer u. L. Grenier, Binnenseehäfen und ihre Zufahrten, Bericht zum XI. Internationalen Schiffahrtskongreß in St. Petersburg 1908.

zum Eisenbahnanschluß versehen. Am linken Ufer besitzen nur die Becken der Park-, St. Jobs- und Schiehäven Eisenbahnanschluß.

Für den Feuerlöschdienst sind zahlreiche Anschlüsse an die städtische Wasserleitung und sechs der Stadt gehörige Spritzendampfer vorgesehen.

Zur Ausbesserung und Besichtigung von Schiffen befinden sich im Besitz der Hafenverwaltung vier Schwimmdocks und eine große Anzahl von Privatwerften mit den mannigfaltigsten Einrichtungen.

Nach den Angaben des M. de Smet de Nayers belief sich der Seeverkehr Rotterdams im Jahre 1906 auf 9 125 000 t und G. J. de Jongh gibt den täglichen Durchschnittsbesuch auf 120 bis 130 Seeschiffe und 1500 bis 1600 Flußschiffe an.

Antwerpen. **Beispiel eines Binnenseehafens im Ebbe- und Flutgebiet, ältere Hafenanlagen am Stromufer, neuere in gegrabenen, geschlossenen Becken; besonders bedeutend Umschlag von Seeschiff zu Eisenbahn; großartige Erweiterungspläne.**

Im Gegensatz zu Rotterdam wird in dem größten belgischen Hafen, Antwerpen, der größte Teil aller Güter, etwa 65 vH., durch die Eisenbahn befördert, ein Umstand, der in der Grundrißgestaltung der vorhandenen, besonders aber der geplanten Hafenanlagen seinen Ausdruck findet. Durch

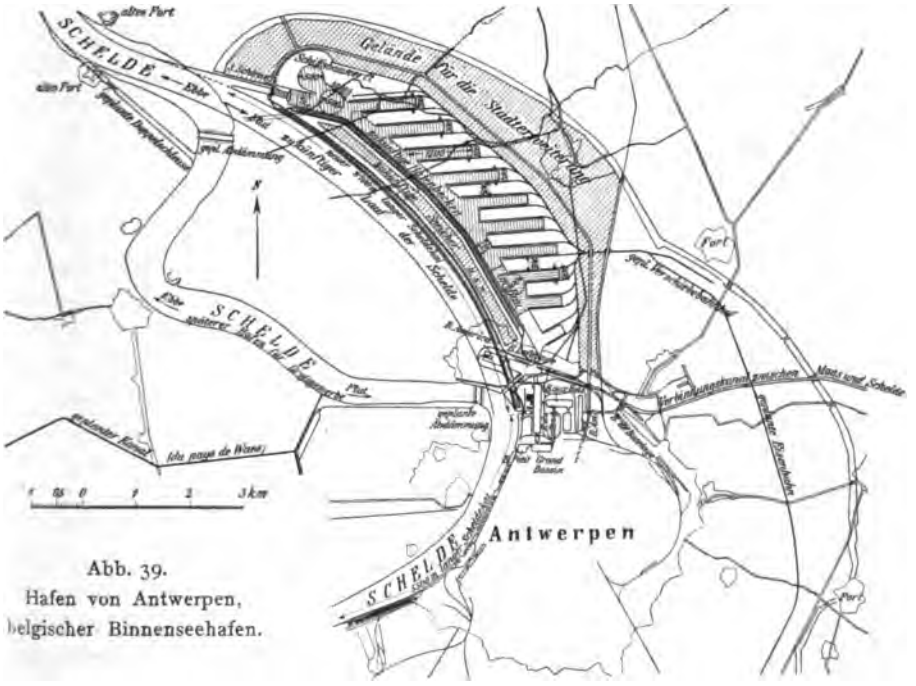


Abb. 39.
Hafen von Antwerpen,
belgischer Binnenseehafen.

seine natürliche Lage in nur 87,5 km Entfernung von der Mündung der Schelde, deren Tiefe durch die von einem mittleren Flutwechsel von rd. 4,4 m Größe[1]) hervorgerufenen Tideströmungen und durch künstliche Regelungsbauten erhalten wird, zugänglich für die größten Seeschiffe, hat sich Antwerpen sowohl als

[1]) In Antwerpen ist, auf Ostender Null bezogen, Mittelhochwasser = + 4,74 m und Mittelniedrigwasser = + 0,37 m.

Handelshafen als auch als Anlaufhafen für zahlreiche, regelmäßige Dampferlinien entwickelt. Seine Handelsbeziehungen werden durch das Zusammenlaufen zahlreicher Eisenbahnlinien aus stark bevölkerten und industriereichen Gebieten und durch die Wasserverbindung mit dem Oberlauf der Schelde und ihrer Nebenflüsse und mit Schiffahrtskanälen nach dem Rhein, der Maas, der Seine und dem ausgedehnten Kanalnetz Frankreichs begünstigt. Den Hauptteil der Hafenanlagen bildet der 5,5 km lange, mit Kaimauern eingefaßte, unmittelbar vor der Stadt belegene Scheldekai, an dem die Seeschiffe auch bei mittlerem Niedrigwasser noch über 8 m Wassertiefe finden und unmittelbar anlegen können (Abb. 39).

Zur Ausstattung des im Mittel 100 m breiten Kais sind zahlreiche Schuppen mit über 100000 qm Lagerfläche, auf der Wasserseite zwei und auf der Landseite fünf, durch Schiebebühnen untereinander verbundene Eisenbahngleise angelegt und 85 fahrbare, hydraulisch betriebene Krane von 1,5 bis 2 t Tragkraft aufgestellt. Während an diesem Kai alle Schiffe den Ebbe- und Flutschwankungen der Schelde unterworfen sind und wie in einem offenen Hafen liegen, sind die am Nordende des Scheldekais belegenen Hafenbecken durch Schleusen geschlossen und als Dockhäfen ausgebildet. Ursprünglich waren acht solcher durch verschließbare Kanäle miteinander in Verbindung stehende Becken mit zwei Schleusen als Zugängen angelegt, in neuerer Zeit sind noch zwei Becken und eine dritte Schleuse hinzugefügt worden als erste Stücke einer großartigen Hafenerweiterung. Von den Schleusen liegt die älteste, als Dockschleuse mit 18 m Weite gestaltete, vor dem kleinen und großen Becken (378 × 155 m groß), die zweite, als Kammerschleuse von 24,8 m Weite, vor dem Kattendijk-Becken (960 × 140 m groß) und die dritte, im Bau befindliche, als Kammerschleuse von 180 m nutzbarer Länge und 22 m Weite, vor dem Lefebre-Becken, an welches das als Petroleumhafen benutzte Amerika-Becken anschließt. Je nach der überwiegenden Benutzungsart sind die einzelnen Becken mit Schuppen, Speichern und Kranen versehen; im ganzen befinden sich an den Becken über 60 fahrbare Krane und mehr als 160000 qm Schuppenlagerfläche. Zum Antrieb für die Krane, Spills, Winden, Schleusentore und Drehbrücken dient hydraulische Kraft. Außerdem sind an dem Kattendijk-Becken noch sechs Trockendocks verschiedener Größe angelegt. Durch das Holz- und Asia-Becken schließt an dasselbe Becken der Verbindungskanal mit der Maas an. Im ganzen liegen die genannten acht Becken etwas ineinandergeschachtelt und für die Bewegungen großer Schiffe unbequem, ferner sind sie nur schwer erweiterungsfähig. Da aber hierzu ein dringendes Bedürfnis vorliegt, so ist nach langjährigen Entwurfsbearbeitungen und Verhandlungen ein Erweiterungsplan aufgestellt worden, der an Großzügigkeit seinesgleichen sucht.[1])

Wie Abb. 39 zeigt, soll dabei zunächst der Scheldelauf durch einen gekrümmten Durchstich verbessert werden, wodurch eine Verlängerung der jetzigen Kaianlagen um 8,2 km ermöglicht wird; für den abzudämmenden, bisherigen Scheldelauf ist eine spätere Verwendung als Großgewerbehafen gedacht

[1]) Zentralblatt der Bauverwaltung 1905, S. 590, A. v. Horn, Vergrößerung des Hafens von Antwerpen.

und ein durch Schleusen verschlossener Zugang am unteren Ende geplant. Gleichlaufend mit dem neuen Scheldelauf soll ein 250 m breiter Kanal angelegt werden, der an das Lefebredock anschließt, und in, die Schelde mit einer dreifachen Schleuse von 300 m Länge, 33 m Breite und 8 m Tiefe über den Drempeln bei Niedrigwasser einmündet. An diesen Kanal schließen 10 Seitenbecken von 200 m Breite und bis zu 1200 m Länge mit Wendeplätzen von 400 m Durchmesser an. Alle diese Becken sollen 12 m Wassertiefe erhalten. Wie ferner auf dem Lageplan erkennbar ist, sind am unteren Ende des neuen Hafenkanals 5 Trockendocks und eine große Schiffswerft vorgesehen. An alle neuen Hafenteile wird, wie auch an die bestehenden, die Eisenbahn herangeführt, was besonders bei der geschickten Form der Seitenbecken leicht möglich ist und zu inniger Berührung zwischen Eisenbahn und Seeschiff führen wird.

An die Ausführung des geschilderten, weitausschauenden Planes wird naturgemäß nur schrittweise herangegangen werden. Der Anfang ist zunächst gemacht worden, indem die das Lefebre-Becken mit der Schelde verbindende Kammerschleuse, ein 745 m langes Stück des Hafenkanals und das erste 400 m lange Seitenbecken zur Ausführung gebracht und ein weiteres Stück des Hafenkanals und die beiden nächsten Seitenbecken in Angriff genommen wurden.

Durch Ausführung der geplanten, auf rd. 150 Mill. Mark veranschlagten Arbeiten wird Antwerpen zu den bedeutendsten und bestausgerüsteten Häfen der Welt gehören und im ganzen rd. 56 km Kaimauerlänge, 681 ha Wasserfläche und 337 ha Schuppenfläche erhalten.

Im Jahre 1905 belief sich der Seeverkehr Antwerpens auf 9,85 Mill. Tonnen.

Zeebrügge und Brügge.[1]) Kennzeichnendes Beispiel für einen an glatter Sandküste künstlich angelegten Anlaufhafen für größte Schiffe in Verbindung mit geschlossenem Hafenbecken und Seekanal. Beispiel für künstliche Heranführung des Seeverkehrs an eine im Binnenlande gelegene Stadt durch einen gegrabenen Seekanal.

Weniger durch seine bisherige Bedeutung und Größe als vielmehr durch den Versuch, eine jetzt im Binnenlande liegende Stadt künstlich wieder zum Seehafen zu machen und durch die Eigenart ihrer Bauweise bieten die Hafenanlagen von Zeebrügge und Brügge besonderes Interesse. Durch seine günstige Lage an der belgischen Küste in der Nähe der englischen Häfen und durch seine Verbindungen mit großen Handelsplätzen, vor allem durch seine Ausbildung als Anlaufhafen für die größten Schiffe, steht zu erwarten, daß der neue Hafen mehr und mehr an Bedeutung gewinnen wird.

Die im Jahre 1907 eingeweihten Bauten setzen sich aus dem Außen- und Binnenhafen bei Zeebrügge, dem rd. 10 km langen Seekanal nach Brügge und dem Hafen in Brügge selbst zusammen.

[1]) Zentralblatt der Bauverwaltung 1881, S. 36; 1894, S. 64; 1897, S. 12; 1898, S. 382; 1899, S. 241; 1904, S. 580; 1907, S. 618. J. Nyssens-Hart u. Charles Piens, Bericht z. X. internationalen Schiffahrtskongreß in Mailand 1905.

Den wesentlichsten und schwierigsten Teil der Anlagen bildet die bei Zeebrügge hergestellte, eine ausgedehnte Reede einschließende, parabelförmige Mole (vgl. Abb. 40). Bei einer Gesamtlänge von 2487 m bildet sie einen nach dem Lande zu offenen Bogen, dessen mit einem kleinen Leuchtturm besetztes Ende 1110 m von der Niedrigwasserlinie des Strandes entfernt ist. Die Mole besteht, vom Lande aus gerechnet, aus einer 232 m langen, vollen Mauer, einem daran anschließenden 300 m langen, aus eisernen Säulen und 5 m weiten Brückenöffnungen hergestellten, unterbrochenen Stück und dem 1955 m

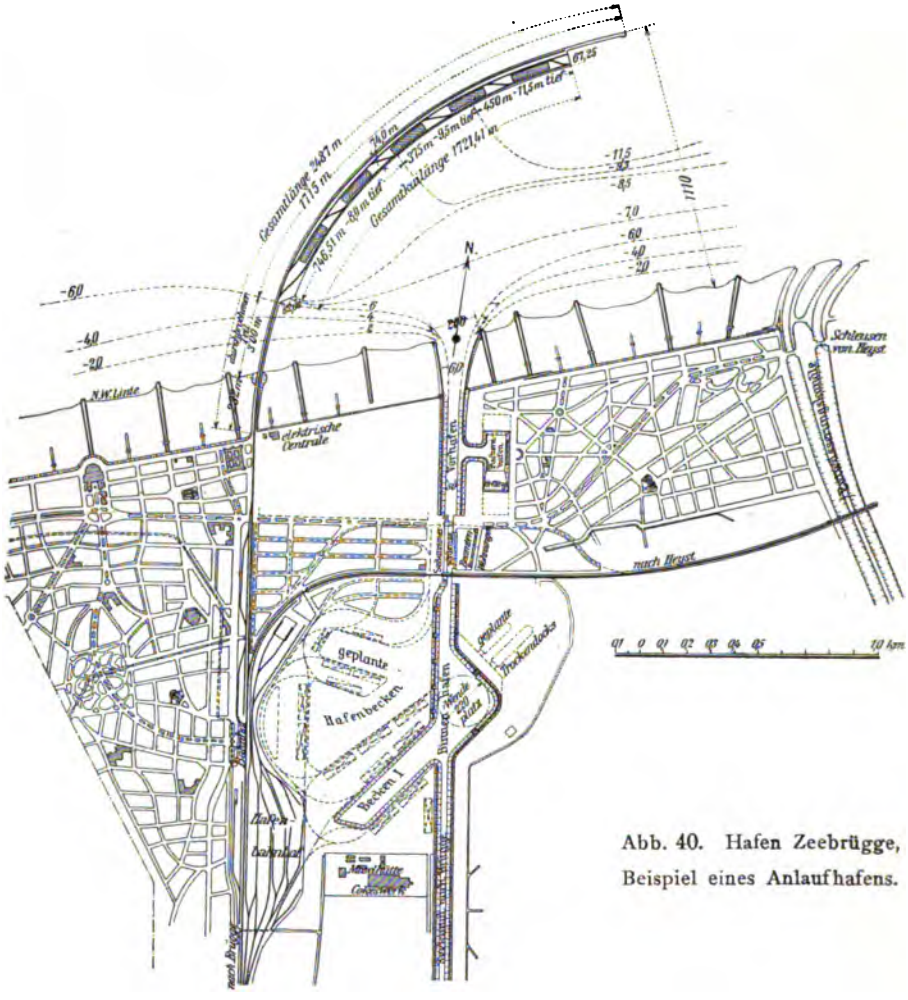


Abb. 40. Hafen Zeebrügge, Beispiel eines Anlaufhafens.

langen massiven Hauptkörper der Mole. Auf dieser Strecke ist, 240 m vom Molenkopf an beginnend, eine Verbreiterung auf 74 m durch eine auf der Binnenseite davorgesetzte, 1721 m lange Kaimauer und dazwischen gefüllte Erde ausgeführt worden. Auf diese Weise wurde unmittelbar am tiefen Wasser ein geräumiger Kai für die Aufstellung von Schuppen und Kranen und für die Unterbringung von Eisenbahngleisen gebildet, so daß dort anlegende Schiffe mit dem geringsten Zeitaufwand Personen und Güter zu jeder Zeit übernehmen oder absetzen können. Da die Tiefe der an dem Kai sich befindenden Anlege-

plätze nach dem Molenkopfe hin zunimmt, und zwar 746,5 m Länge mit 8 m, 375 m mit 9,50 m und 450 m mit 11,50 m Tiefe unter Niedrigwasser-Springflut[1]) vorhanden sind, so können dort die größten zur Zeit vorhandenen Dampfer anlegen. Sofern daher sich die genannten Tiefen mit angemessenen Kosten dauernd erhalten lassen werden, kann die Anlage als Anlaufhafen durch seine Lage an tiefem Wasser und günstigen Eisenbahnverbindungen, die doppelgleisig unmittelbar bis an die Anlegeplätze führen, für den überseeischen Schnelldampferverkehr große Bedeutung erlangen. Ob dies bei der aus beweglichem Sande bestehenden Küste möglich sein wird, muß die Erfahrung lehren; unterstützend soll dabei der 300 m lange durchbrochene Molenteil wirken, indem er den Ebbe- und Flutströmungen gestattet, den Hafen zu durchströmen und vor Versandungen zu schützen. Näheres über die Gesichtspunkte bei Hafenbauten an sandigen Küsten wird im Kapitel 8 gegeben werden.

Im Schutze der Mole ist die Mündung des Seekanals nach Brügge mit den zugehörigen Anlagen angeordnet worden (Abb. 40). Diese bestehen aus einem

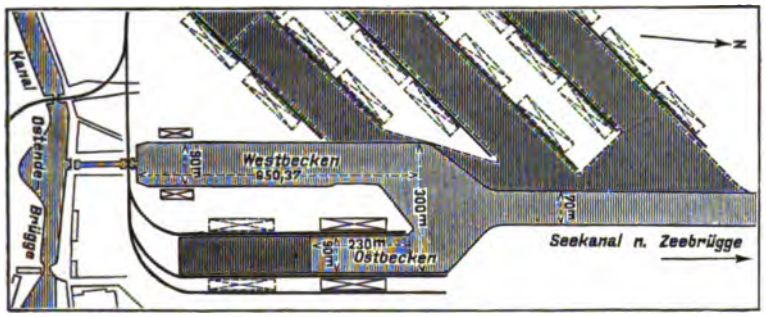


Abb. 41. Hafen von Brügge, Beispiel eines künstlichen Hafens am Ende eines Seekanals.

750 m langem, in der Sohle 50 m breitem Vorhafen, einer großen Seeschleuse von 20 m lichter Weite, 9,5 m Tiefe unter Hochwasser und 158 m Kammerlänge mit Schiebetorverschluß und einem erweiterungsfähigen Binnenhafen nebst Wendeplatz von 220 m Durchmesser, von dem zunächst nur ein Becken zur Ausführung gelangt ist. An den Vorhafen schließt sich ein geräumiges Becken für Fischereiverkehr an. Bei Brügge selbst gabelt sich der Seekanal in zwei Hafenbecken, von denen das westliche ganz und das östliche zur Hälfte bereits hergestellt ist. Wie Abb. 41 zeigt, liegen diese Becken sowohl für den Eisenbahnanschluß, als auch für spätere Erweiterungen günstig.

London. **Beispiel eines erstklassigen Binnensee-Handelshafens im Ebbe- und Flutgebiet mit ausschließlich geschlossenen, künstlich gegrabenen Hafenbecken; Beispiele von Halbtidebecken. Kennzeichnend für Dockhäfen.**

Wie an den meisten an Flußmündungen gelegenen, englischen Häfen ist auch in der Themse bei London der Flutwechsel ein sehr bedeutender. Der Tidehub beläuft sich bei Springfluten in London auf rd. 6,3 m und vor den 42 km unterhalb belegenen Tilbury-Docks auf 5,34 m und bei Nippfluten an denselben Orten auf 4,60 bezw. 3,20 m. Wird hierdurch einerseits bei Hochwasser das Eindringen der Schiffe in das Binnenland erleichtert, so zwingen

[1]) Hochwasser-Springflut 4,60 m höher.

diese Umstände anderseits zur Anlage geschlossener Dockhäfen, da sowohl die starken Wasserstandsschwankungen das Löschen und Laden erschweren, als auch die Freihaltung offener Becken durch Eintreiben von Schlick kostspielig und oft unmöglich machen. Der Londoner Hafen setzt sich aus diesen Gründen aus einer Reihe künstlich gegrabener Dockbecken zusammen, die durch einfache oder Kammerschleusen entweder nur bei Hochwasser oder jederzeit zugänglich sind. Vielfach sind den Dockbecken noch besondere Halbtidebecken vorgelagert (siehe die West-India-Docks und die Royal-Albert-Docks auf Abb. 42), um die Zeit für das Einfahren in einen geschützten Platz zu verlängern (vergl. hierüber Kapitel 3 und 9). Infolge der Krümmungen des Themselaufes war es mehrfach möglich, die Becken so anzuordnen, daß sie einen Bogen abschneiden und von zwei Seiten mit Eingängen versehen werden konnten; hierdurch und durch verschließbare Verbindungskanäle zwischen den einzelnen Docks wird die Sicherheit des Zugangs zu den betreffenden Becken erheblich erhöht, vergl. die West India-Docks und die Royal-Victoria- und Royal-Albert-Docks auf Abb. 42.

Wie die in den Lageplan, Abb. 42, eingeschriebenen Jahreszahlen erkennen lassen, sind die Londoner Hafenbecken sämtlich im Laufe eines Jahrhunderts entstanden. Auf das 1790 eröffnete Greenland-Dock auf dem rechten Themseufer folgten 1802 am linken Ufer die West-India-Docks, 1805 die London-Docks, 1806 die Ost-India-Docks, in den Jahren von 1807 bis 1812 am rechten Ufer die dem Holz- und Getreideverkehr dienenden Surrey-Commercial-Docks, dann wiederum am linken Ufer die St. Katharines-Docks, 1868 auf der Dogs-Insel das

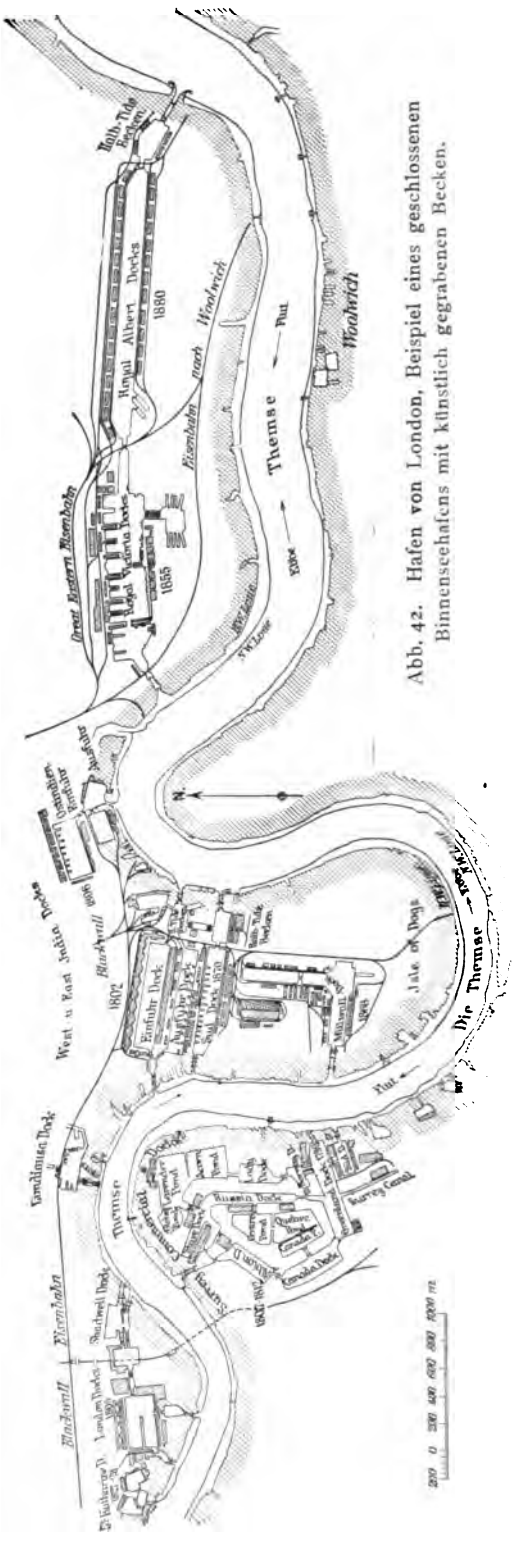


Abb. 42. Hafen von London, Beispiel eines geschlossenen Binnenseehafens mit künstlich gegrabenen Becken.

L-förmige Millwall-Dock, 1855 die ausgedehnten Royal-Victoria-Docks, 1870 das südliche West-India-Dock und 1880 das große Royal-Albert-Dock. Wie die Reihenfolge des Entstehens der Becken zeigt, rücken die jüngeren Anlagen, dem vermehrten Tiefgang der größer werdenden Schiffe entsprechend immer weiter die Themse hinab. Letzterer Umstand führte dazu, etwa 42 km unterhalb Londons gegenüber Gravesend eine neue Dockgruppe in den 1886 eröffneten Tilbury-Docks (Abb. 43) mit einem offenen Vorhafen von rd. 8 m Wassertiefe unter Niedrigwasser bezw. 14 m bei Hochwasser anzulegen. Während in den älteren Docks die Hafentiefen zwischen 7,8 und 9,5 m bei Hochwasser, und die Schleusenlichtweiten zwischen 10,4 und 24,5 m schwanken, beträgt die Tiefe in den Tilbury-Docks 11,6 m bei Hochwasser und erfolgt der Zugang durch eine Kammerschleuse von 215 m Länge und 24,4 m Weite mit 13,40 m Drempeltiefe bei Hochwasserspringflut. Durch ein Zwischentorpaar kann die Schleuse in Unterabteilungen von 170 und 45 m zerlegt werden. Im Notfalle können an Stelle der Schleuse auch die daneben liegenden, von beiden Seiten zugänglichen Trockendocks von 266 m Länge, 21,35 m Breite und 10,60 m Drempeltiefe zur Einfahrt in das Dock benutzt werden.

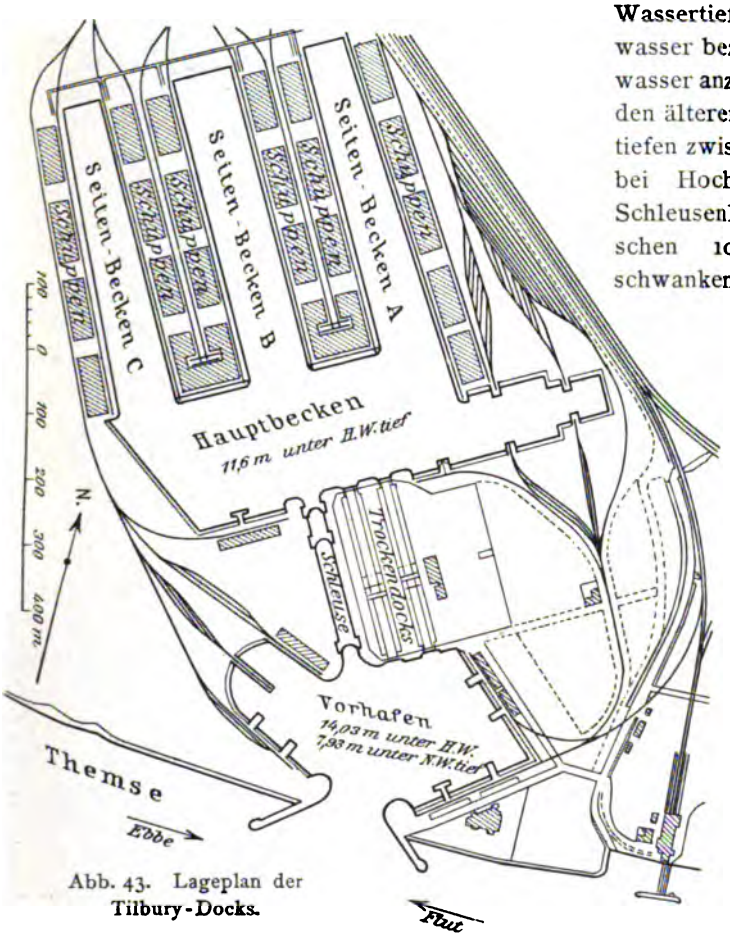


Abb. 43. Lageplan der Tilbury-Docks.

Unter den Formen der Hafenbecken herrscht bei den neueren das langgestreckte Rechteck vor; auf den Kaiflächen sind von Eisenbahngleisen umgebene Schuppen in großer Ausdehnung angeordnet. Im ganzen beträgt die Wasserfläche der Londoner Docks rd. 256 ha.

Wenn auch zur Zeit der Londoner Hafen noch der bedeutendste der Welt ist, so ist doch in seiner Entwicklung seit der Eröffnung der Tilbury-Docks ein Stillstand eingetreten, der die maßgebenden Kreise mit ernster Sorge erfüllt,

zumal der Wetteifer anderer, vorwärts strebender Handelsplätze sich mehr und mehr fühlbar macht. Erschwerend fällt ins Gewicht, daß die verschiedenen Dockgruppen in den Händen von sich bekämpfenden Privatgesellschaften sind und dadurch ein einheitliches Vorgehen bei der zeitgemäßen Ausstattung der Hafenanlagen fehlt.

Liverpool.[1]) Hervorragendes Beispiel für einen im starken Flutwechsel gelegenen Hafen mit künstlich gegrabenen, geschlossenen Hafenbecken, Dockhafen, Halbtidebecken. Umschlag von Seeschiff auf Eisenbahn und an Land. Mündungshafen.

Unter den mit Dockbecken ausgestatteten Häfen nimmt Liverpool eine der ersten Stellen ein. Seine Entwicklung als Handelshafen wird bedingt durch die günstige Lage an der Mündung des Mersey, nur 22 km von der See entfernt, durch ein an Naturschätzen und großgewerblichen Anlagen reiches Hinterland, sowie durch die zahlreichen, dort zusammenlaufenden Eisenbahnen. Die Hafenanlagen sind an derjenigen Stelle des Mersey entstanden, wo seine Ufer kurz vor dem Eintritt in das Meer enger zusammentreten und dadurch die Tiefe des Stromes vergrößern.

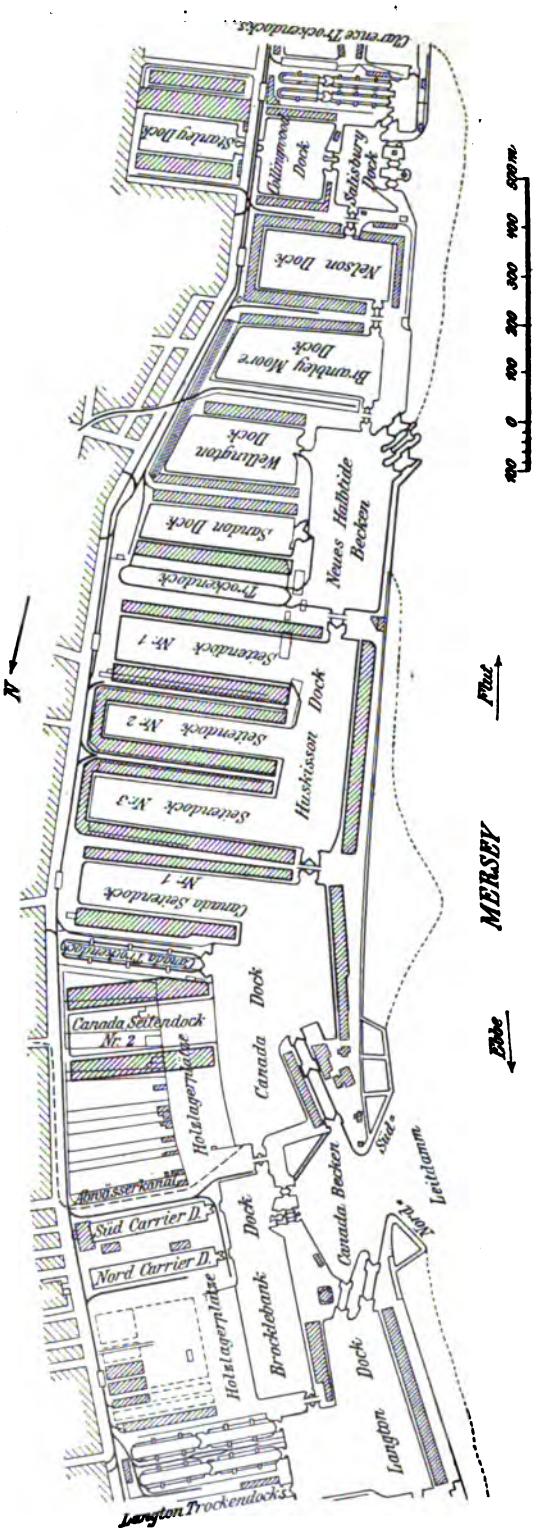


Abb. 44. Teil des Hafens von Liverpool, Beispiel eines reinen Dockhafens.

[1]) Colson, Notes on Docks and Dock Construction. Cunningham, Dock Engineering; A. G. Lyster, Die neuesten Bauten und Projekte im Hafen von Liverpool, Bericht zum VIII. Internationalen Schiffahrtskongreß.

An der Mündung des Mersey bei New Brighton beträgt die Strombreite 1700 m, vor der Mitte der Stadt Liverpool 910 m und am Südende der Hafenanlagen bei Dingle Point etwa 2190 m; an den gleichen Orten besitzt der Strom bei Niedrigwasser-Springtide für die größten Seeschiffe ausreichende Tiefen von 21,3 m, 12,2 m und 15,2 m.

Da der Flutwechsel im Mersey eine bedeutende Größe, und zwar bei Äquinoktial-Springfluten 9,60 m, bei gewöhnlichen Springfluten 8,38 m und bei tauben Fluten 3,96 m erreicht, so ist für die Anlage eines Hafens die Herstellung von geschlossenen Becken das Gegebene. Infolgedessen bestehen die Liverpooler Hafenanlagen aus etwa 30 sich auf eine Strecke von 10 km am rechten Ufer des Mersey ausdehnenden Dockbecken in zum Ufer gleichlaufender oder senkrechter Richtung. An einzelne Becken schließen ein oder mehrere Seitenbecken an. In früheren Zeiten standen die Becken alle untereinander durch verschließbare Verbindungskanäle in Zusammenhang, heute jedoch findet an der Stelle der großen schwimmenden Landungsbrücke und ihrer Zugänge, etwa in der Mitte der Hafenanlagen, eine Teilung in eine nördliche und eine südliche Gruppe statt. Von der nördlichen Gruppe stellt Abb. 44 einen kennzeichnenden Teil dar. Den Zugang zu den Dockbecken vermittelt eine große Anzahl von Schleusen, zum Teil in Form von Dockschleusen, zum Teil in Form von Kammerschleusen. Einzelne Becken haben überhaupt keine eigene Einfahrt und können nur von den Nachbarbecken aus erreicht werden. An den Haupteinfahrten sind den Schleusen entweder offene Vorhäfen vorgelagert (vergl. auf Abb. 44 das Canada-Becken vor dem Canada-, Brocklebank- und Langton-Dock) oder es sind Halbtidebecken vorgesehen, wie vor dem Huskisson-, Sandon-, Wellington- und Brambley Moore-Dock auf Abb. 44 oder dem Nelson- und Collingwood-Dock. Zur Spülung der Vorhäfen sind besondere künstliche Einrichtungen getroffen worden, deren Schilderung in einem späteren Kapitel im zweiten Bande erfolgen wird.

Von den Kammerschleusen ist die größte die Canada-Schleuse mit 183 m Länge und 30,5 m Weite; gleich weite Dockschleusen sind noch drei vorhanden, die übrigen haben sehr verschiedene Abmessungen, bis 5,5 m Weite herunter. Eine Zusammenstellung aller Docks und Schleusen findet sich in dem Werk von Brysson Cunningham, Dock Engineering, S. 31 u. f. Zum großen Teil sind die Docks mit Schuppenbauten umgeben (Abb. 44), auch sind Eisenbahngleise und Krane vorgesehen, doch ist die Anlage in dieser Hinsicht nicht besonders vollkommen durchgebildet. Eine Anzahl über die ganze Hafenanlage verstreuter Trockendocks von verschiedener Größe gewährt die erforderliche Ausbesserungsgelegenheit.

Im ganzen bedecken die Docks eine Wasserfläche von 162,4 ha und besitzen eine nutzbare Kailänge von 41,8 km. Da sie alle einer kaufmännischen Verwaltung, dem Mersey Docks and Harbour Board, gehören, ist für ihre Benutzung die Trennung nach bestimmten Zwecken durchgeführt worden, so daß einzelne Docks nur dem Holz- oder Getreide- oder Tabak- oder Baumwoll- usw. Verkehr dienen.

Durch die in den letzten Jahrzehnten vorgenommenen Umbauten ist auf den Schleusendrempeln und in den Docks eine Wassertiefe von 9,3 m bis 12,65 m

bei gewöhnlicher Springtide vorhanden, in einzelnen Becken, z. B. in den Canada- und Huskisson-Docks sowie in den Canning- und Brunswick-Docks kann durch gewaltige Kreiselpumpenanlagen der Wasserstand durch Wasserentnahme aus dem Fluß künstlich erhöht und der durch Undichtigkeiten oder Verbrauch bei den Kammerschleusen entstehende Verlust ersetzt werden.

Für den Personenverkehr und das Löschen von lebendem Vieh ist in der Mitte der ganzen Hafenanlage die bereits erwähnte, schwimmende Landebrücke bestimmt, deren Länge nach und nach auf 750 m erweitert wurde. Acht bewegliche Brücken, darunter eine für Wagen auf Schwimmkästen, stellen die Verbindung mit dem Lande her. An dem schwimmenden Kai können die größten Dampfer unmittelbar vor der Abfahrt anlegen und die auf der Hafeneisenbahnstation eintreffenden Reisenden und ihr Gepäck ohne Zeitverlust übernehmen.

Am Liverpool gegenüberliegenden linken Ufer des Mersey, das noch größere Wassertiefen als das rechte aufweist, hat sich bei dem Orte Birkenhead eine große Dockhafenanlage, die mit dem Liverpooler Hafen in gemeinsamer Verwaltung steht, entwickelt. Ihre Docks umfassen 66,8 ha Wasserfläche und enthalten 15,3 km nutzbare Kaistrecken, so daß die Liverpooler und Birkenheader Docks zusammen 229 ha Wasserfläche und 57 km Kailänge aufweisen.

Von Wichtigkeit ist für die Bedeutung und Entwicklung dieser Häfen die Möglichkeit jederzeitigen Zuganges. Von New Brighton an, wo die festen Ufer des Mersey zurücktreten, bilden die Fortsetzung des tiefen Fahrwassers der Crosby Channel und der Queens Channel. Vor letzterem findet eine Barrenbildung statt, so daß dort früher bei Niedrigwasser-Springflut nur eine Wassertiefe von 3 m vorhanden war; durch umfangreiche Baggerungen ist heute erreicht worden, daß selbst bei dem Niedrigwasser der Äquinoktial-Springfluten in rd. 450 m Breite eine Wassertiefe von 8,23 m herrscht, und daß somit große Schiffe auch zu dieser ungünstigsten Zeit einlaufen können; nur die allergrößten finden zu dieser Zeit auf geringe Dauer nicht genügend Wassertiefe vor.

Manchester. Beispiel für künstliche Heranführung des Seeverkehrs an eine Binnenstadt durch einen Seekanal unter Benutzung eines Flusses; Hafenanlagen geschlossen durch oberste Schleusenanlage des Kanals, unter sich offen.

Der Seehafen von Manchester bildet ein seltenes Beispiel dafür, wie eine im Binnenlande gelegene Stadt künstlich zur Hafenstadt gemacht werden kann. Manchester ist der Mittelpunkt eines dichtbevölkerten, großgewerblichen Gebietes und erhielt früher seine Rohstoffe von Liverpool aus auf dem Eisenbahnwege. Zur Vermeidung des Umladens und zur Verringerung der im Verhältnis zur Seefracht teureren Eisenbahnfracht wurde der rd. 50 km lange Manchester-Seekanal erbaut und 1894 dem Verkehr übergeben. Durch diese aus dem Mersey bei Eastham abzweigende und das Tal des Irwell benutzende Wasserstraße werden jetzt Seeschiffe bedeutender Abmessungen unmittelbar vor die Tore der Stadt und in den dort angelegten Hafen geführt.

Der Seekanal steigt von dem Mersey durch fünf Schleusenanlagen um 18 m und besaß ursprünglich 7,92 m, jetzt jedoch 8,54 m Wassertiefe. Von den Doppelschleusen haben die größeren 183 m Länge, 19,81 m Breite und 8,82 m Tiefe über den Drempeln, die kleineren 106,7 m Länge und 13,71 m Breite.

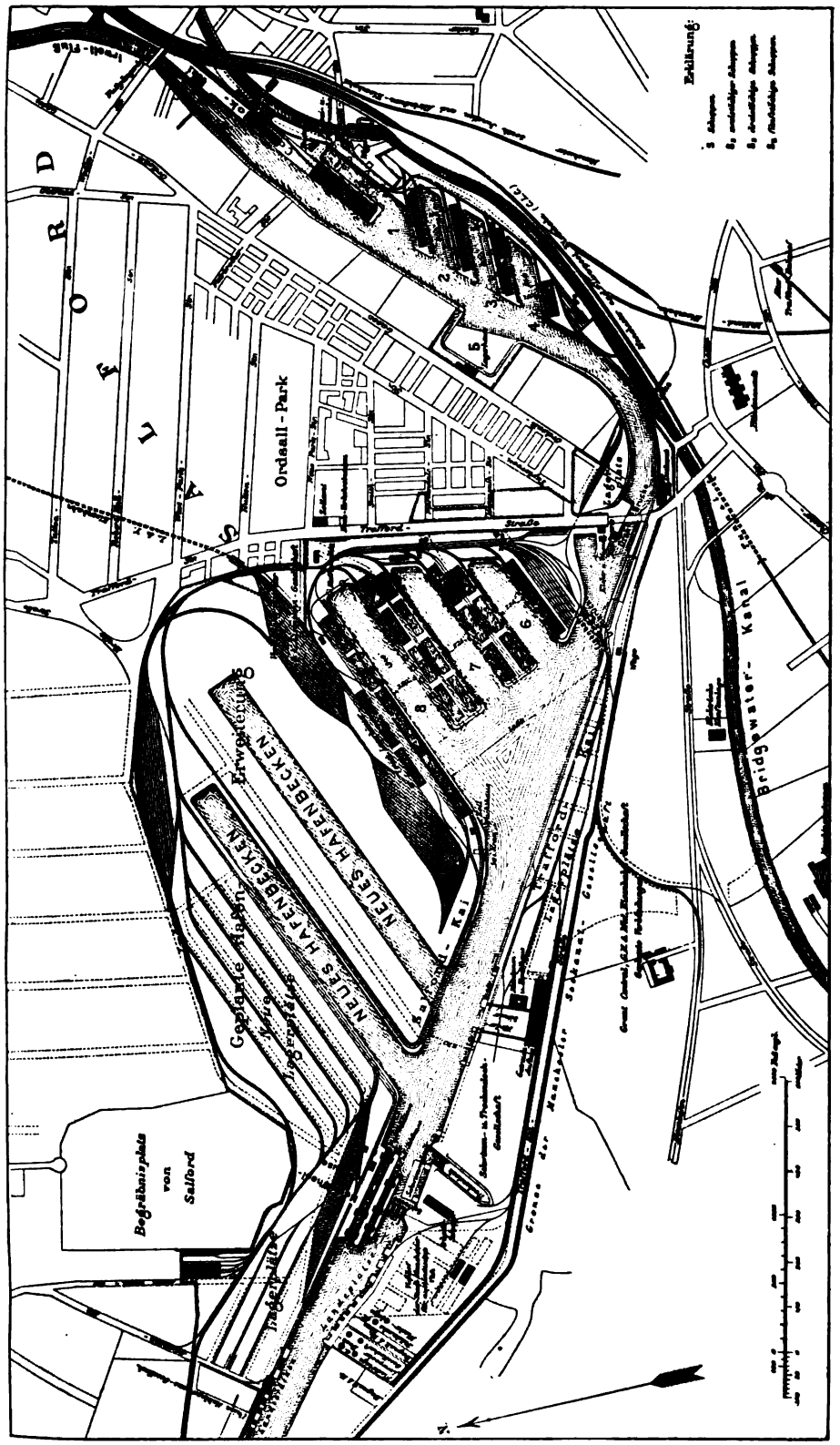


Abb. 45. Hafen von Manchester, Beispiel eines künstlichen Binnenseehafens am Ende eines Seekanals.

Die Hafenanlagen zerfallen in zwei Gruppen offener Becken, von denen die kleinere aus fünf 171 bis 213 m langen, 36,5 bis 45,7 m breiten, zungenförmig in das linke Kanalufer hineingreifenden Becken besteht und die größere auf dem rechten Ufer bei dem Orte Salford gelegene, drei Becken von 250 bis 410 m Länge und 68,6 m Breite und einen größeren Wendeplatz aufweist. Westlich davon sind für spätere Erweiterungen zwei Becken von rd. 800 m Länge vorgesehen (vergl. den Lageplan, Abb. 45).

Auf den zwischen den Becken liegenden Hafenzungen sind Schuppen, Eisenbahngleise und hydraulisch betriebene Krane in großem Umfange angelegt, um das Löschen und Laden zu erleichtern. Wie der Lageplan erkennen läßt, ist das Ineinandergreifen von Wasser- und Landflächen behufs inniger Berührung von Seeschiff und Eisenbahn in guter Weise durchgeführt worden, wenn auch nicht zu verkennen ist, daß besonders die Anlagen auf dem linken Ufer mit nur einem Mittelschuppen für die Aufnahme der Güter von zwei Kaiseiten etwas knapp bemessen sind. Infolgedessen sind einzelne Schuppen dreigeschossig angelegt worden. Insgesamt besitzt der Hafen von Manchester eine Wasserfläche von 42 ha mit 8,8 km Kailänge; hinzu kommen durch die geplanten Seitenbecken noch 12 ha bezw. 3,2 km. Mehrere Lagerhäuser, eine Schwimm- und Trockendockanlage vervollständigen das Bild des Hafens, der nach unten durch die oberste Schleusenanlage des Seekanals bei Salford begrenzt wird.

Durch die ganze, vom technischen Standpunkte aus hochinteressante Anlage ist ein bedeutender, wirtschaftlicher Aufschwung Manchesters und seiner Umgebung begründet worden, doch hat die bisherige Verkehrsentwicklung in geldlicher Hinsicht bei den sehr hohen Anlagekosten nur sehr mäßige Erträge gebracht, da es sich als schwierig erwiesen hat, die für Manchester bestimmten Güter von den alten Handelswegen abzulenken, wozu besonders die durch die Anlage des Seekanals benachteiligten Eisenbahngesellschaften durch Frachtermäßigungen beigetragen haben.[1]) Es ist dies ein wichtiger, bei der Beurteilung ähnlicher Pläne nicht außer acht zu lassender Gesichtspunkt.

Le Havre. Beispiel eines Küstenhafens an sandiger Küste im Ebbe- und Flutgebiet. Anlauf- und Handelshafen, Umschlaghafen für Seeschiffe und Flußschiffe, künstliche Binnenwasserstraße. Hafenbecken geschlossen, gegraben, Tiefkai für Schnelldampfer.

Im Gegensatz zu den bisherigen Beispielen sind die beiden bedeutendsten Handelshäfen Frankreichs, von denen Le Havre an zweiter Stelle steht, Küstenhäfen. Le Havre ist durch seine vorgeschobene Lage am rechten Rande des Mündungsgebiets der Seine sowohl als Anlaufhafen für den großen Überseeverkehr wie auch als Handelshafen wegen der unter den französischen Häfen geringsten Entfernung von Paris und dem Herzen Frankreichs (228 km) und der in dieses große und reiche Absatzgebiet führenden leistungsfähigen, durch die Seine gebildeten Wasserstraße von Natur für Hafenzwecke sehr begünstigt. Hinzu kommt das Vorhandensein einer durch Bänke genügend geschützten großen und kleinen Reede mit vorzüglichem Ankergrund.

[1]) Zeitschr. f. Bauwesen 1903, S. 327, Lageplan, Taf. 46, Sympher, Die Entwicklung des Seekanals von Manchester von 1894 bis 1901.

Da die Flutgröße in Havre bei Springflut 7,20 m bezw. bei tauber Flut 2,92 m erreicht, so sind die Hafenbecken als geschlossene angelegt worden.[1]) Die Entwicklung des Hafens ist aus den in den Lageplan, Abb. 46 eingeschriebenen Jahreszahlen leicht zu ersehen. Früher führte eine durch kurze Molen begrenzte Einfahrt in einen geräumigen, 760 m langen und bis 290 m breiten Vorhafen, an den neun durch Dockschleusen zugängliche Hafenbecken

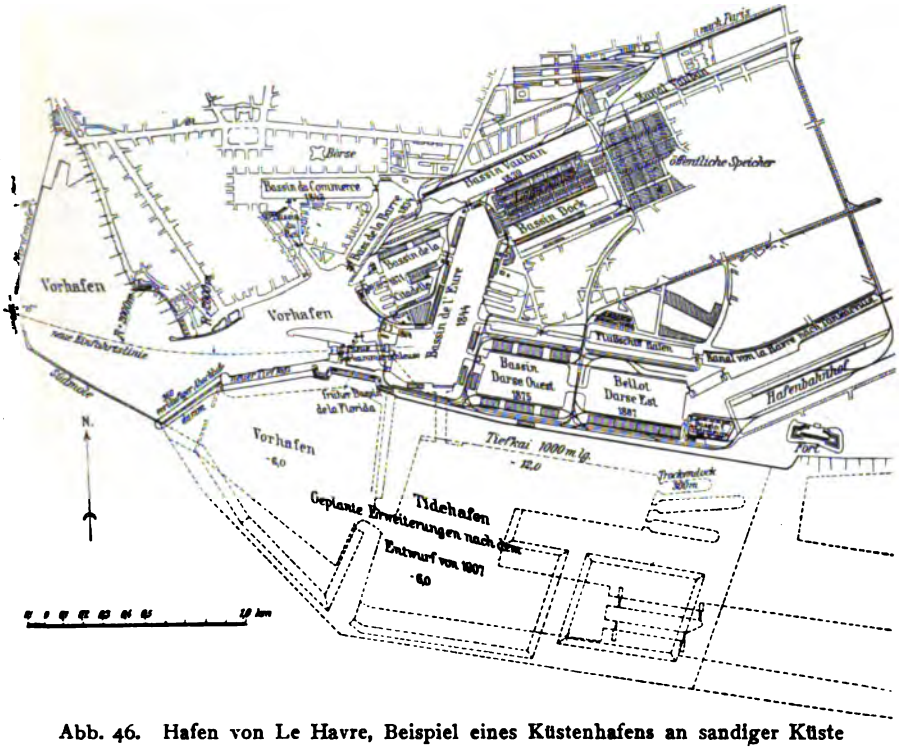


Abb. 46. Hafen von Le Havre, Beispiel eines Küstenhafens an sandiger Küste mit starker Flut und Ebbe.

mit insgesamt 72 ha Wasserfläche und 11,1 km Kailänge anschließen. Von den Hafenbecken sind die größten das Bassin de l'Eure mit 21,3 ha Fläche sowie 1,94 km nutzbarer Kailänge und das jüngste, das in zwei annähernd gleiche Teile zerfallende Bassin Bellot mit zusammen 21,2 ha Wasserfläche und 2,38 km Kailänge. Alle Becken stehen durch kurze Kanäle und Zwischenschleusen miteinander in Verbindung. Von den Schleusen hat die vor dem Bassin de l'Eure, l'Ecluse des atlantiques, die größten Abmessungen mit 30,5 m Weite und 8,70 m Drempeltiefe unter dem Hochwasser tauber Tiden + 5,57 m über Null.

Eine Besetzung der Kais mit Schuppen und ihre Ausrüstung mit Eisenbahngleisen und Kranen ist nur an den neueren Becken, besonders an dem Bassin Bellot in größerem Umfange vorhanden; ferner befinden sich auf den Kaiflächen zwischen dem Bassin Vaban und Dock ausgedehnte Schuppen und Speicheranlagen. Am Ende des Bassins Bellot ist ein kleines Becken für den

[1]) Bei Springflut ist Hochwasser + 7,85 m über Null, Niedrigwasser + 0,65 m über Null. Bei tauben Fluten ist Hochwasser + 5,57 m über Null, Niedrigwasser + 2,65 m über Null.

Petroleumverkehr vorgesehen. Zur Ausbesserung von Schiffen stehen je drei Trockendocks in den Bassins de la Citadelle und de l'Eure bis zu 167 m nutzbarer Länge, 29,12 m mittlerer Weite und 7 m Drempeltiefe unter dem Hochwasser bei tauber Flut zur Verfügung.

Um die Hafenanlagen den Bedürfnissen der Neuzeit entsprechend zu gestalten, sind in den letzten Jahren bedeutende Verbesserungen mit dem Ziel, auch den größten Schiffen jederzeitiges Einlaufen zu gestatten, vorgenommen worden.[1])

Von der See aus betrachtet, bestehen diese zur Zeit im wesentlichen beendeten Arbeiten in der Herstellung einer 350 m breiten Außenfahrrinne mit zunächst — 4,50 m, später — 6 m bezw. — 9 m Tiefe unter Null, d. h. in letzterem Falle 9,65 m Wassertiefe bei dem Niedrigwasser der Springtiden. Diese Fahrrinne führt auf einen neuen Vorhafen mit 200 m weiter nach Nordwesten gerichteter Einfahrt, gebildet durch zwei gegeneinander laufende Molen von 850 m und 875 m Länge, die eine Wasserfläche von 70 ha umschließen (Abb. 46). An die Südmole wird ein 370 m langes Hafendammstück zur Verbindung mit dem neuen 500 m-Tiefkai für große Schnelldampfer angefügt. In späterer Zeit wird die Beseitigung dieses Molenstückes zum Anschluß weiterer Hafenbecken beabsichtigt. Vor dem 65 m breiten, mit Eisenbahnanschluß versehenen neuen Kai soll eine Tiefe von — 9 m unter Null schon jetzt hergestellt werden.

Im Anschluß an die Einsegelungslinie ist ferner unter Beseitigung älterer Hafenteile eine große Kammerschleuse von 241 m Nutzlänge und 30 m Breite mit — 4,50 m unter Null tiefen Drempeln als weiterer Zugang zu dem Bassin de l'Eure ausgeführt worden, um den bisherigen Mangel an einer durch eine Kammerschleuse jederzeit zugänglichen Einfahrt zu beseitigen, der allerdings durch die Havre eigentümliche lange Dauer des Hochwassers früher nicht besonders fühlbar geworden war. Durch diese Anlagen sind der Entwicklung Havres neue Bahnen geöffnet, doch ist damit die Umgestaltung der Hafenanlagen keineswegs beendet; schon beschäftigen die gesetzgebenden Körperschaften neue Pläne zu einer bedeutenden Vergrößerung des Hafens durch südlich von dem Bassin Bellot zu schaffende und von dem neuen Vorhafen aus zugängliche Anlagen, bestehend aus einer Vergrößerung des Vorhafens und einem anschließenden Tidehafen für die größten Schiffe, in dem zunächst 1000 m Kailänge mit — 12 m Tiefe und ein Trockendock von 300 m Nutzlänge ausgebaut werden sollen.[2])

Da für Flußschiffe das Befahren des Mündungsgebiets der Seine gefährlich und unzuverlässig ist, wurde durch Anlage eines 25,5 km langen Kanals nach Tancarville, von wo an der Seinelauf dauernd ausreichende Tiefe besitzt, für die unterste Stromstrecke Ersatz geschaffen, gleichzeitig wurde der frühere Hafenort Harfleur durch einen kleinen Stichkanal angeschlossen, indem der Kanal bis zu dessen Abzweigung 6 m Tiefe erhielt.

---

[1]) Quinette de Rochemont, Bericht über die neuesten Arbeiten, die in den hauptsächlichsten Seehäfen ausgeführt sind, zum XI. Internationalen Schiffahrtskongreß in Petersburg 1908.

[2]) Georges Hersent, Mise au Point de notre Outillage Maritime, Ports et Canaux. S. 41. Paris 1908.

Der Kanal steht mit dem Bassin de l'Eure durch den Flußschiffhafen und dessen Verlängerung in Verbindung; zu den in neuester Zeit beschlossenen, in Ausführung begriffenen Anlagen gehört ferner die Anlage einer geräumigen Schleuse zwischen dem Kanal und dem Bassin Bellot, die Anlage eines 972 m langen Kais und eines Wendeplatzes am Kanalanfang. In den durch Schiebetore verschließbaren Häuptern erhält die Schleuse 25 m und in der 170 m langen Kammer 50 m Weite; da der nach dem Kanal zu belegene höhere Drempel auf — 2 m unter Null angelegt wird, so steht bei dem Eintritt in den Kanal mit einem regelmäßigen Wasserstande von + 7,15 m eine Wassertiefe von 9.15 m zur Verfügung.

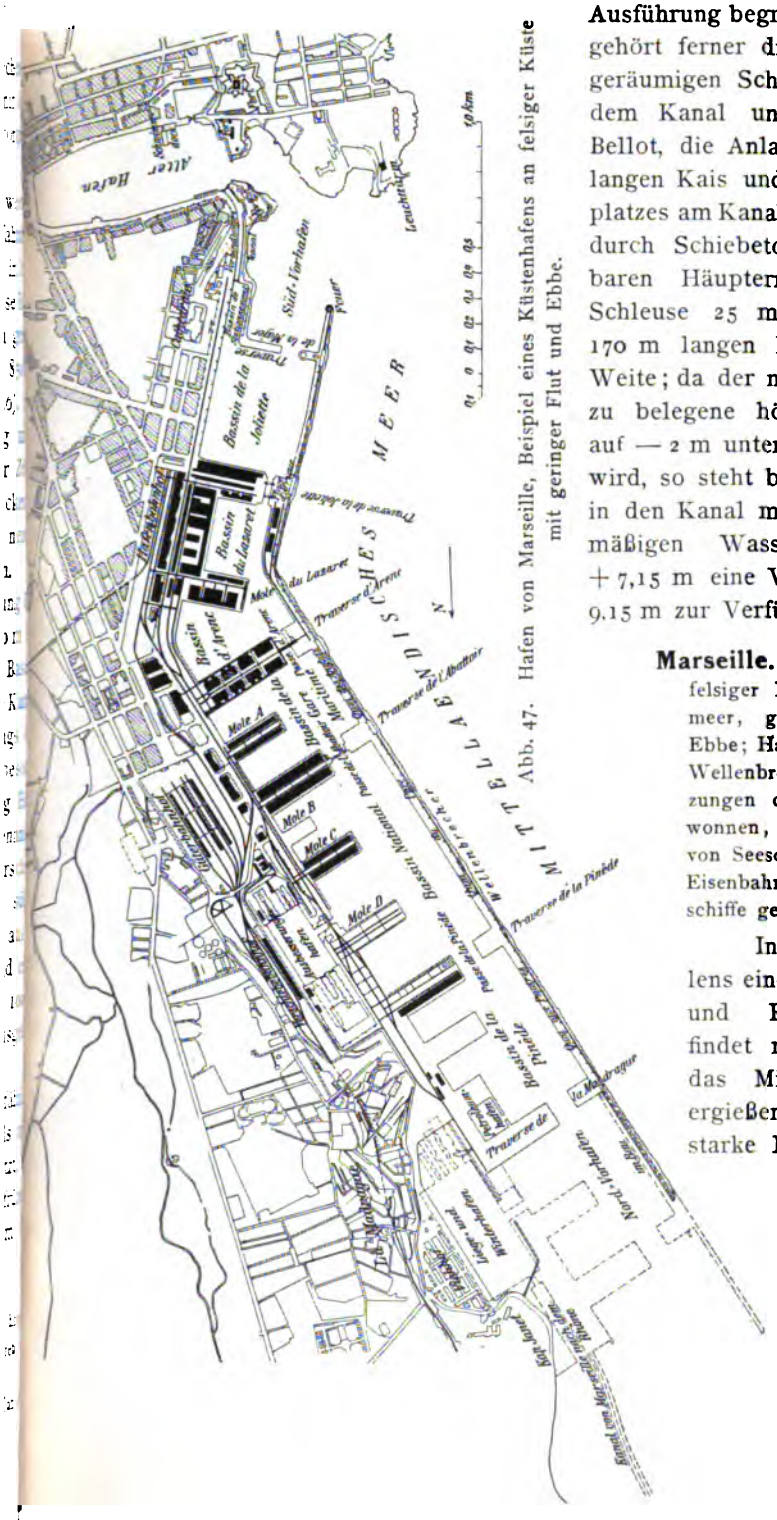


Abb. 47. Hafen von Marseille, Beispiel eines Küstenhafens an felsiger Küste mit geringer Flut und Ebbe.

Marseille. Küstenhafen an felsiger Küste im Nebenmeer, geringe Flut und Ebbe; Hafenbecken, durch Wellenbrecher und Hafenzungen dem Meere abgewonnen, offen. Umschlag von Seeschiff an Land und Eisenbahn, in Binnenschiffe geplant.

Infolge des Fehlens einer starken Ebbe- und Fluterscheinung findet man an den in das Mittelmeer sich ergießenden Flüssen starke Deltabildungen, so daß wegen der Veränderlichkeit der Fahrrinnen und der Schwierigkeit in der Erhaltung großer Tiefen die Anlage von

Binnenseehäfen aussichtslos ist; alle bedeutenden Häfen im Mittelmeer sind daher Küstenhäfen und benutzen für An- und Abfuhr der Waren die Eisenbahnen.

Noch vor 60 Jahren bestand der Hafen von Marseille, jetzt der bedeutendste Frankreichs, aus einer natürlichen Bucht von rd. 900 m Länge und 320 m Breite mit 6 bis 7 m Tiefe und einer 70 m weiten Einfahrt. Vom Jahre 1844 an begann, den Verkehrsbedürfnissen Rechnung tragend, der Bau von künstlichen Hafenbecken, indem gleichlaufend mit der Küstenlinie, von dem alten Hafen anfangend, ein Wellenbrecher und von diesem und der Küste aus senkrecht dazu Hafenzungen angelegt wurden, so daß dazwischen Becken verschiedener Größe entstanden (Abb. 47).

Zwischen den Hafenzungen und den Wellenbrechern blieben zur Verbindung der einzelnen Becken Durchfahrten frei, welche bei den älteren Becken eng und verschließbar angelegt wurden, bei den neueren dagegen offen blieben und Weiten von 100 m erhielten.

Entsprechend der Form der Küstenlinie mußte der sonst geradlinige Wellenbrecher bald eine Richtungsänderung erfahren. Auf diese Weise entstanden nach und nach die Bassins de la Joliette, de Lazaret, d'Arenc, de la Gare Maritime, National und das 1908 vollendete Bassin de la Pinède; von diesen ist das größte das 920 m lange und 500 m breite Becken National mit 41 ha Wasserfläche und 3,76 km Kailänge. In den Becken nimmt die Tiefe von 6 m an den Küstenkais bis auf 20 m an den Kais auf der Innenseite des Wellenbrechers zu; in dem jüngsten, 600 · 500 m großen Becken beträgt die geringste Tiefe 8,50 m unter Mittelwasser. Es finden somit die größten und tiefgehendsten Schiffe ausreichende Wassertiefe vor. Die Breite der mit Gleisen, Schuppen und Speichern ausgerüsteten Hafenzungen, hier Traversen und Molen genannt, wechselt von 80 bis 130 m; zur Erleichterung des Lösch- und Ladegeschäfts dienen zahlreiche, hydraulisch betriebene Krane. Im ganzen beträgt die Wasserfläche der Hafenbecken rd. 201 ha und die Kailänge rd. 21 km. Zu bemerken ist, daß infolge der rechtwinkligen Abzweigung der Hafenzungen der Eisenbahnanschluß nur durch Drehscheiben erfolgen kann, worin ein gewisser Mangel besteht, da nur einzelne Wagen und nicht ganze Züge zugestellt werden können.

An das Bassin National schließt sich durch einen 28 m breiten Verbindungskanal ein geräumiges Becken für auszubessernde Schiffe an, dessen schmale Seiten mit sechs Trockendocks verschiedener Größe ausgestattet sind; das größte von diesen hat 172,45 m Nutzlänge, 25 m Breite und 6,30 m nutzbare Tiefe, entspricht somit nicht mehr den Anforderungen der größten Schiffe. Für den Petroleumverkehr ist in der nordöstlichen Ecke des Bassin de la Pinède ein kleiner, durch einen Ponton verschließbarer Hafen und ferner in der Bucht von Madrague, von dem neuen Nordvorhafen aus zugänglich, ein 685 m breiter, 224 m langer Liegeplatz für außer Betrieb befindliche Schiffe mit 2 bis 5 m Wassertiefe angelegt worden.

Zur Zeit werden in gleicher Weise, wie bisher, neue Erweiterungen des Hafens durch Verlängerung des Wellenbrechers geplant, da der gesteigerte Verkehr bisher stets schnell die neuerbauten Becken überfüllt hat.

Im wesentlichen findet im Marseiller Hafen die Zu- und Abfuhr der Güter durch Seeschiffe und Eisenbahnen statt. Man beabsichtigt nun in neuester Zeit, den Hafen durch Anschluß an die große Binnenwasserstraße des Rhône auch für Flußschiffe zugänglich zu machen und dadurch für die gedeihliche Entwicklung des Hafens einen neuen Weg zu schaffen, indem unter Benutzung des Kanals von Arles nach dem Hafen von Bouc ein Schiffahrtsweg zum Rhône hergestellt wird, auf dem Flußschiffe sicher nach Marseille gelangen können, vergl. Abb. 47 ganz links.

Genua.[1]) **Beispiel eines Küstenhafens in natürlicher, felsiger Bucht am Nebenmeer ohne starken Flutwechsel. Hafenbecken durch Hafenzungen dem Meere abgewonnen, Schutz und Erweiterung durch Molenbauten. Verkehr fast ausschließlich zwischen Seeschiff und Eisenbahn.**

Als größter Handelshafen Italiens hatte Genua schon frühzeitig besondere Bedeutung erlangt. Während in alten Zeiten die östliche, geschützt liegende Ecke der halbkreisförmigen Bucht von rd. 1500 m Durchmesser für Hafenzwecke genügte, mußten im Laufe der Zeit zur Vergrößerung der nutzbaren Hafenfläche weitere Schutzbauten unternommen werden. So begann im Jahre 1283 der Bau des Molo Vecchio (Abb. 48) und im Jahre 1634 die Ausführung des 900 m langen Molo Nuovo, dessen endgültige Fertigstellung sich bis 1868 ausdehnte, zum Schutz gegen Süden und Südwest; seine heutige Gestalt erhielt der Hafen durch die in den Jahren 1877 bis 1893 erfolgte Erbauung des 1500 m langen Molo di Galliera und des 595 m langen Molo Giano, welche eine gegen Osten offene, 600 m weite Einfahrt frei lassen und einen 100 ha großen, 9 bis 20 m tiefen Vorhafen, den Avamporto Vittorio Emanuele, umschließen. Gleichzeitig wurde die innere Hafenfläche durch die Anlage von 12 zum Ufer senkrechten Hafenzungen, hier Ponte genannt, und von Kaimauern zum Anlegen von Seeschiffen eingerichtet. Im ganzen umfaßt der innere Hafen zur Zeit 94 ha Wasserfläche mit 8 bis 13 m Tiefe und 8300 m nutzbarer Kailänge. Infolge der steilen, unmittelbar vom Küstensaum ansteigenden Ufer mußten alle Hafenteile gegen das Wasser vorgeschoben werden; die Herstellung des Eisenbahnanschlusses bereitete daher große Schwierigkeiten; bei einem Teil der Hafenzungen erfolgt die Zustellung der Wagen nur durch Drehscheiben. Etwa 100 meist hydraulisch angetriebene, fahrbare Krane von durchschnittlich 1,5 t Tragkraft sowie zahlreiche hydraulisch betriebene Spills dienen zur Erleichterung des Verkehrs; für die Kohleneinfuhr sind außerdem vier elektrisch betriebene, fahrbare Entladebrücken Brownschen Systems vorhanden.

Für den Verkehr der verschiedenen Güterarten sind im Laufe der Zeit bestimmte Hafenteile besonders ausgestaltet worden. Im Vorhafen findet hauptsächlich die Küstenschiffahrt Platz und bleibt hier frei von Zollbehandlung. Für Güter gemischter Art wird in erster Linie der ältere, östliche Teil des Hafens benutzt, während der Getreideverkehr sich in der Mitte des Hafens am Kai S. Limbania und am Ponte A. Parodi und in dem Darsena genannten Becken abspielt. Für den Personendampferverkehr sind die erforderlichen Einrichtungen am Ponte F. Guglielmo vorgesehen, und am Ponte A. Doria werden haupt-

[1]) Ports maritimes von E. Coen-Cagli und O. Bernardini, Mailand 1905.

sächlich Exportgüter gesammelt, gelagert und verladen; der Ponte C. Colombo dient zum Löschen und Lagern von Geweberohstoffen (Baumwolle usw.) und der Ponte Caracciblo für die Aufnahme von Holz und Eisengegenständen. Für die sehr bedeutende Kohleneinfuhr sind Teile des westlichen Hafens vorbehalten, und zwar besonders die Ponte Biagio Assereto und Sapri und der Kai an der Innenseite des Molo Nuovo. Petroleumschiffe legen am Ende des

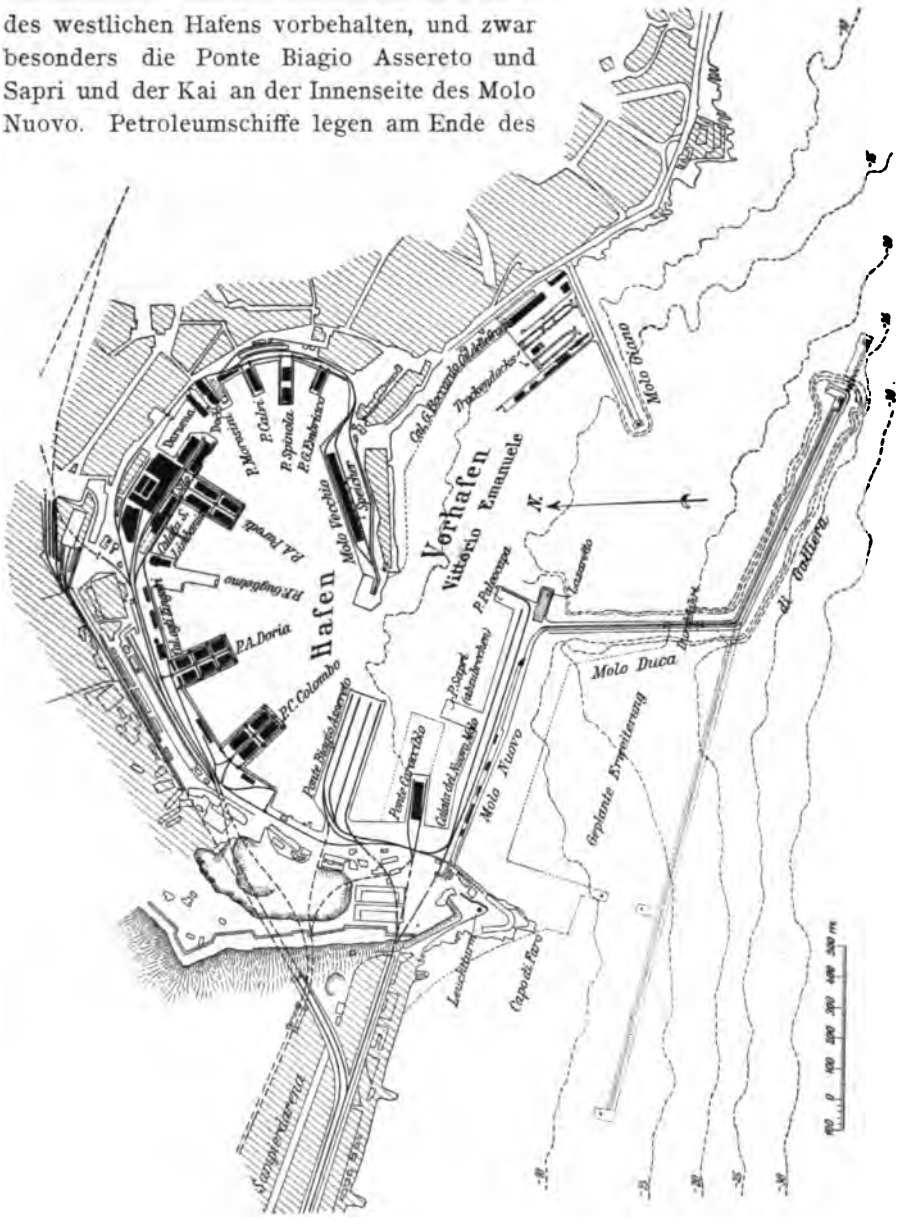


Abb. 48. Hafen von Genua, Beispiel eines Küstenhafens an felsiger Bucht mit geringer Flut und Ebbe.

Molo Nuovo am Passo Nuovo an und können durch dort beginnende Rohrleitungen ihre Ladung in die am Lande in der Nähe des Capo di Faro befindlichen Behälter pressen.

Für Lagerungszwecke sind eine Anzahl von Gebäuden vorhanden, unter denen nachfolgende besondere Erwähnung verdienen. Am Molo Vecchio be-

findet sich ein viergeschossiger Speicher für den allgemeinen Verkehr von 301,3 m Länge und 30 m Breite, ferner am Kai S. Limbania ein Getreidezellenspeicher mit einem Fassungsraum für 27 000 t Getreide, mit einer besonderen Ladebrücke für Saugluftentleerung und sehr vollkommenen Maschineneinrichtungen, dessen Vergrößerung auf 44 000 t Lagerraum bevorsteht. Für die Lagerung von Wein sind in der Nähe der Hafenzunge Francisco Morosini zwei viergeschossige Gebäude von 72×15 und 53×17 m Grundfläche vorgesehen. Auf dem Ponte F. Guglielmo ist für die Bedürfnisse und Abfertigung der Reisenden und Auswanderer ein 100 · 50 m großes Gebäude errichtet. Außerdem sind noch zahlreiche andere Gebäude für die Lagerung von Waren vorhanden, darunter Kaischuppen mit einer Grundfläche von 34 000 qm.

Nicht besonders umfangreich sind die Anlagen zur Ausbesserung von Schiffen, sie bestehen aus einem alten, aus dem Jahre 1843 stammenden Trockendock von 81,6 m Länge, 21,4 m Breite und 6,6 m Tiefe, aus zwei größeren, in den Jahren 1892 u. 1893 vollendeten Trockendocks von 160 bezw. 200 m Nutzlänge, 25 bezw. 18 m Einfahrtsbreite und 9,5 bezw. 8,5 m Tiefe unter Mittelwasser und aus einem kleinen Schwimmdock mit 2900 t Tragkraft.

Der Güterumsatz im Seeverkehr hat im Jahre 1903 die Höhe von 4,9 Millionen Tonnen in Ein- und Ausfuhr erreicht. Da die Leistungsfähigkeit der jetzigen Hafenanlagen durch diese Verkehrsgröße im wesentlichen erschöpft ist, sollen weitere Arbeiten vorgenommen werden, und zwar sowohl durch Vervollkommnung der jetzigen Einrichtungen, als auch durch Schaffung eines neuen Hafenbeckens. Zu diesen Arbeiten gehört der Ausbau des Ponte Caracciblò nach den gestrichelten Linien auf Abb. 48, um ihn für den Kohlenverkehr einzurichten und dadurch den Ponte Biagio Assereto für andere Güter verfügbar zu erhalten. Ferner soll der Vorhafen durch Vollendung des 180 m langen Kais G. Boccardo und seine Fortsetzung an der Südseite des Molo Vecchio mehr nutzbar gemacht werden. Um ferner die Wellenbewegung im Hafen noch mehr abzuschwächen, soll eine etwa 200 m Verlängerung des Molo di Galliera stattfinden. Endlich wird die Anlage eines neuen, großen Hafenbeckens in der flachen Bucht zwischen dem Molo di Galliera, dem Molo Nuovo und dem Capo di Faro geplant. Zur Herstellung dieses Beckens (vergl. Abb. 48) soll das letzte Stück des Molo di Galliera rückwärtig um 1700 m verlängert werden und eine Hafenzunge am Capo di Faro angelegt werden. Das neu geschaffene Hafenbecken wird eine Wasserfläche von 39 ha erhalten und von Osten durch eine 100 m weite Lücke in dem ersten Stück des Molo di Galliera und von Westen durch eine gleich weite Einfahrt zwischen der Hafenzunge und einem von der neuen Mole ausgehenden Querbau zugänglich sein. Das überragende Stück des Wellenbrechers dient, wie in Marseille, zur Bildung eines geschützten, neuen Vorhafens. In ferner Zukunft würde auf dem gleichen Wege eine neue Vergrößerung des Hafens erfolgen können.

Triest.[1]) Beispiel eines Hafens an felsiger Küste in offener Bucht, Hafenbecken offen, gebildet durch in das Meer vorgeschobene Wellenbrecher und Hafenzungen. Umschlag überwiegend von Seeschiff zu Eisenbahn und umgekehrt.

Die Hafenanlagen von Triest entstanden in ihrer heutigen Gestalt im wesentlichen in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts. Wie der Lage-

[1]) Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins 1904, S. 629 u. f.

plan, Abb. 49, zeigt, ist die Anordnung der des Marseiller Hafens ähnlich, indem der Hafen durch einen in geringer Entfernung mit dem Ufer gleichlaufenden Wellenbrecher von rd. 1100 m Länge geschützt wird und die einzelnen Hafenbecken durch senkrecht zur Uferlinie gerichtete Hafenzungen (Moli) gebildet werden. So sind in dem neuen Hafen drei Becken von 230, 268 und

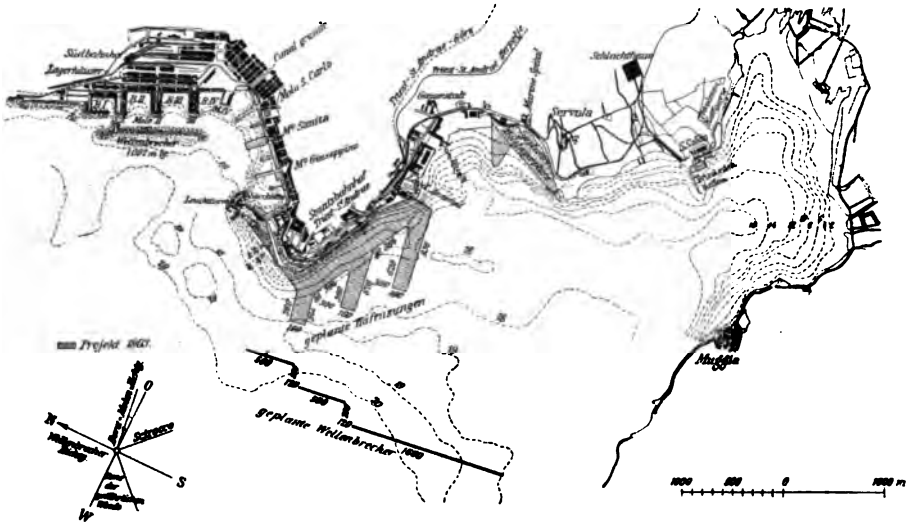


Abb. 49. Hafen von Triest. Beispiel eines Küstenhafens in natürlicher, offener Bucht.

298 m Länge und 168 bis 225 m Breite mit 8,5 m Tiefe durch die Moli I, II und III entstanden, deren Ufer mit Gleisen und Schuppen und Kranen ausgestattet wurden. An der Landseite befindet sich zwischen dem Ufer und dem Südbahnhof eine einfache Reihe mehrstöckiger Lagerhäuser.

An den neuen Hafen schließen sich nach Süden weitere, durch die Molen S. Carlo, Sanita, Giuseppino und S. Teresa eingeschlossene Wasserflächen an letztere begrenzt den mit Sacchetta bezeichneten ältesten Teil des Hafens.

Die nach der im Jahre 1885 erfolgten Vollendung dieser Anlagen eintretende Verkehrszunahme führte zum weiteren Ausbau der Hafenanlagen. Erwähnt sei hier die Erbauung des Molo IV, wodurch das Becken IV geschaffen wurde, ferner die Anschüttung eines 820 m langen Holzlagerplatzes vom Molo S. Teresa bis zum Bootshafen von S. Andrea und die Errichtung eines Petroleumhafens bei S. Sabba einschließlich eines dahin führenden Eisenbahnanschlusses. Während der größte Teil dieser Anlagen im Jahre 1893 fertig wurden, gelang die Herstellung des Molo IV erst im Jahre 1901.

In der beschriebenen Form besaß der Triester Hafen 7,1 km nutzbare Kailänge mit 76 ha Beckenfläche; auf den bis zum Molo IV reichenden, als Freigebiet angelegten neuen Hafen entfallen davon 3,2 km Kailänge.

Zur Handhabung der Güter dienen 64 hydraulisch betriebene Krane, von denen 54 fahrbar und 10 feststehend eingerichtet sind; außerdem ist ein Schwimmkran von 40 t Tragfähigkeit vorhanden. Ausbesserungsgelegenheit bieten die südlich von S. Andrea gelegenen Docks und Hellinge des österreichischen Lloyd.

Weitere Verbesserungen des Hafens wurden im Jahre 1898 beschlossen; sie bestanden in der Hauptsache in der Verbreiterung der Uferflächen zwischen den Molen IV und S. Teresa in der Herstellung eines neuen Molo vor dem Sanitätsgebäude und einer Anlegestelle an der inneren Seite des Molo Teresa; ferner in der Errichtung eines Molo mit Ufermauer und Anschüttung zur Lagerung von Massengütern. Diese Arbeiten wurden im Jahre 1901 begonnen. Noch umfangreichere, großzügige Pläne zur Ausgestaltung des Triester Hafens wurden im Jahre 1903 gefaßt, als man durch Erweiterung des ursprünglichen Planes für die südlich von Triest gelegene Bucht von Muggia bei S. Andrea den auf Abb. 49 durch Strichelung gekennzeichneten Entwurf aufstellte, durch dessen Ausführung auf lange Zeit den Bedürfnissen des Verkehrs genügt werden kann. Nach diesem Plane sollen bei S. Andrea drei große Molen und ein breiter Uferplatz nach See zu vorgeschoben und durch drei zusammen 2600 m lange Wellenbrecher geschützt werden. Diese Anlagen sollen durch Schuppen, Speicher Eisenbahngleise und Krane der Neuzeit gemäß ausgestattet werden. Auf dem durch Anschüttung gewonnenen Gelände ist ferner die Anlage eines ausgedehnten Hafenbahnhofs der Staatsbahn vorgesehen.

Gleichzeitig soll durch weitere Anschüttungen bei Servola ein neuer Holzlagerplatz geschaffen und der Petroleumhafen bei S. Sabba weiter ausgebaut werden.

Im ganzen wird nach Ausführung des Entwurfes im Triester Freigebiet eine Kailänge von 8,5 km, in den Schuppen eine Fläche von 174 000 qm und den Speichern eine solche von 334 000 qm zur Verfügung stehen.

New York.[1]) **Beispiel eines erstklassigen Handelshafens, gebildet durch geschützte Meeresbucht und eintretende Ströme,, geringer Flutwechsel, große Zahl von Hafenzungen. Umschlag an Land, Eisenbahn und Binnenschiffe.**

Die Entwicklung New Yorks als eines der ersten Handelshäfen der Welt wird durch seine günstige natürliche Lage auf einer 22 km langen, bis 3,6 km breiten Insel, dem Manhattan Island, zwischen zwei breiten und tiefen Flüssen, dem Hudson oder North River auf der Westseite und dem East River auf der Ostseite, und durch seine geschützte Lage in geringer Entfernung vom Ozean gefördert. An den ausgedehnten Ufern dieser Flüsse, in der Nähe der Südhälfte der Insel Manhattan und gegenüber nach Westen in Hoboken und New Jersey und nach Osten in Brooklyn, spielt sich der Haupthafenverkehr ab. Da der geringe Flutwechsel von rd. 1,4 m die Anlage offener Becken gestattet, so bestehen die sich über weite Uferstrecken ausdehnenden Hafenanlagen aus einer großen Zahl von meist senkrecht zum Ufer gerichteten Hafenzungen (Piers oder Wharfs), zwischen denen sich schmale Becken zur Aufnahme der Schiffe bilden. Wie Abb. 50 zeigt, erscheinen die Ufer der genannten Flüsse wie gespickt mit diesen Piers, welche durchweg aus einer großen Anzahl eingerammter und mit einer Plattform überdeckter Pfähle bestehen und mit eisernen Schuppen überbaut sind. Besondere Hafenbecken befinden sich hauptsächlich auf der Brooklyner Seite, von denen das große, mit Speichern umgebene Atlantic Basin und das Erie Basin genannt werden

[1]) Cordemoy, Les Ports modernes, Bd. II, S. 570. — Zentralblatt der Bauverwaltung 1901, S. 515, Verbesserung der Zufahrt zum Hafen von New York.

mögen. Während an den New Yorker Ufern die Seeschiffe hauptsächlich mit dem Landverkehr in Berührung kommen, findet besonders in Hoboken und New Jersey der Verkehr zwischen Seeschiff und zahlreichen Eisenbahnlinien statt; dort befinden sich auch die Pieranlagen für die großen Dampfer der Hamburg-Amerika-Linie und des Norddeutschen Lloyd.

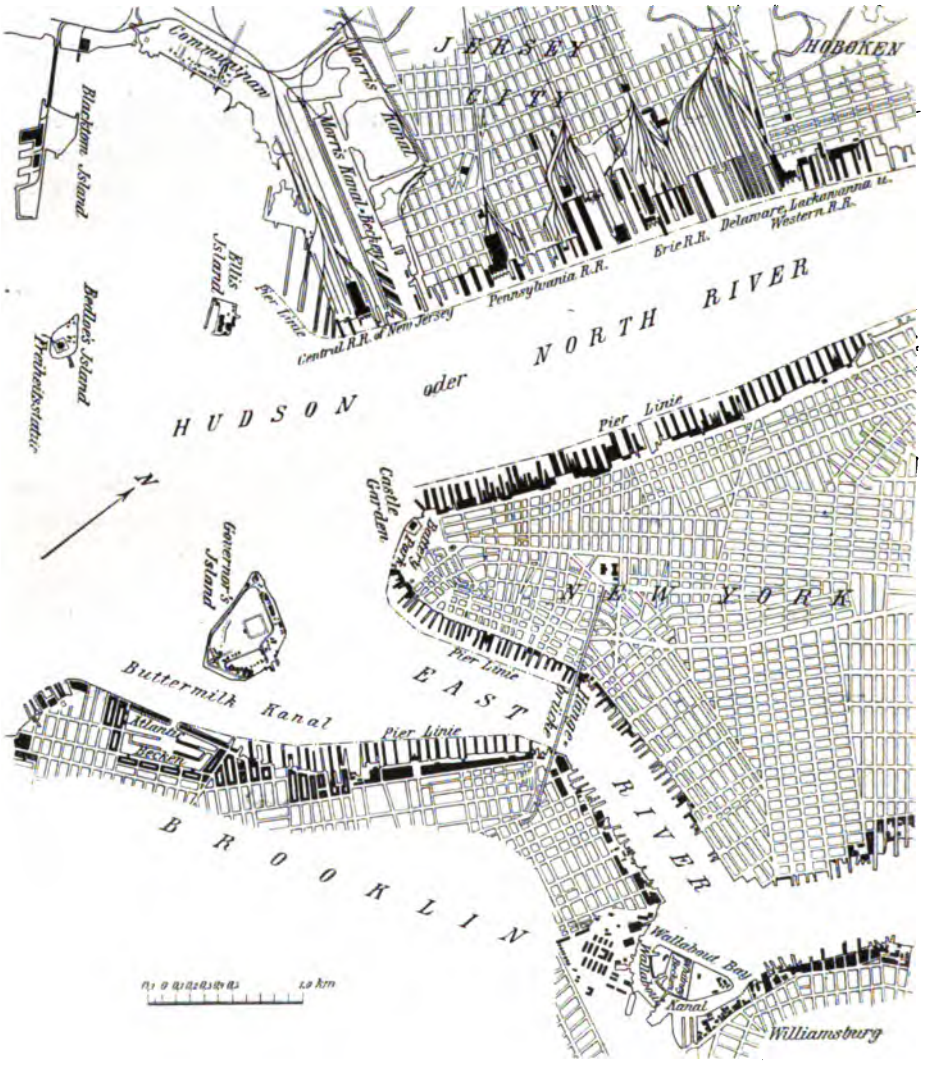


Abb. 50. Teil des Hafens von New York, Beispiel eines natürlich geschützten Hafens, viele Hafenzungen.

Ein weiterer Vorzug des New Yorker Hafens besteht darin, daß große und leistungsfähige Binnenwasserstraßen hier ihren Ausgang nehmen, wie der für 1000 t-Schiffe umgebaute Erie-Kanal und der Morris-Kanal, wodurch New York mit dem reichen Gebiet an den großen nordamerikanischen Seen und einem ausgedehnten Hinterlande in innige Verbindung kommt.

Näher auf die gewaltigen Hafenanlagen einzugehen, verbietet hier der Platz, nur sollen die Zufahrt des Hafens und die zu ihrer Verbesserung unternommenen Arbeiten noch geschildert werden. Wie Abb. 51 zeigt, schließt sich an die Vereinigung des Hudson und East River zunächst eine Bucht, die

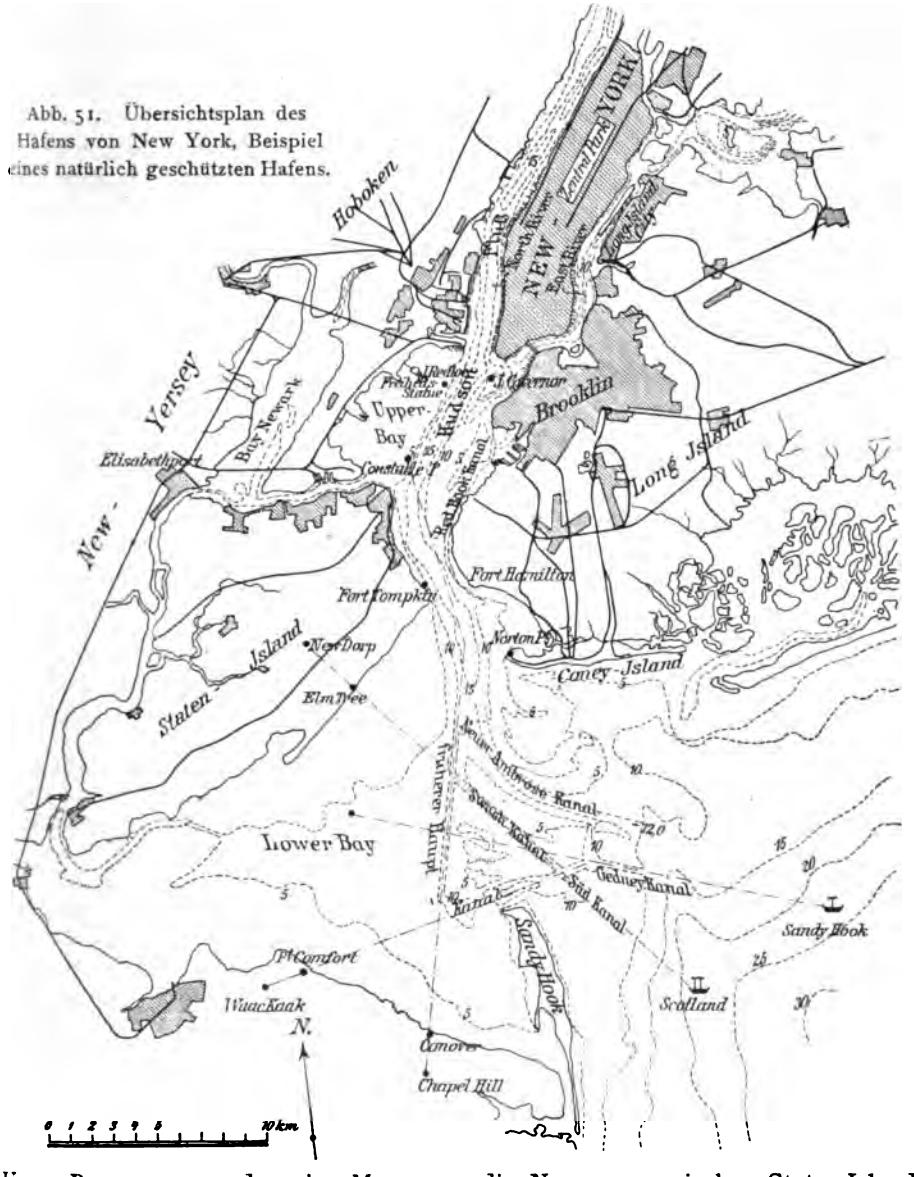


Abb. 51. Übersichtsplan des Hafens von New York, Beispiel eines natürlich geschützten Hafens.

Upper Bay, an, aus der eine Meerenge, die Narrows, zwischen Staten-Island und Long Island in die ausgedehnte Lower Bay führt. Diese Bucht ist vom Atlantischen Ozean durch eine 3 bis 5 km breite, von Sandy Hook bis Coney Island sich erstreckende Barre getrennt. Verschiedene tiefere Rinnen auf der Barre gestatten den Schiffen die Durchfahrt. Von diesen hatte für die größten Seeschiffe bisher der zunächst in südlicher Richtung sich erstreckende Main Ship Channel mit dem unter einem spitzen Winkel anschließenden Bayside

Channel, auf Abb. 51 mit früherer Hauptkanal bezeichnet, und dessen Fortsetzung in östlicher Richtung bildenden Gedney Channel die Hauptbedeutung. Seine Tiefe betrug ursprünglich bei mittlerem Niedrigwasser 7,1 m, wurde aber in den Jahren 1884 bis 1892 durch Saugebagger auf 9,14 m vergrößert. Infolge der neuzeitlichen Zunahme der Schiffsabmessungen erschien diese Tiefe nicht mehr als ausreichend, und da ferner der scharfe Richtungswechsel der bisherigen Fahrrinne für große Schiffe unbequem und bei nebeligem Wetter gefahrvoll ist, so wurde 1899 die Verbesserung einer kürzeren, weiter östlich liegenden Fahrrinne, des heutigen, eine sanfte Krümmung aufweisenden Ambrose Channel, durch Herstellung von 12,2 m Tiefe unter Mittelniedrigwasser in einer Breite von 610 m beschlossen.

Von dieser durch mehrere große Saugebagger mit eigenem Laderaum unternommenen Arbeit war im Herbst 1907 etwa die Hälfte vollendet und eine Tiefe von 10,7 m in 305 m Breite hergestellt, so daß die zur Zeit vorhandenen größten Schiffe in jedem Augenblick der Tide in den New Yorker Hafen auf einem leicht befahrbaren Wege einlaufen können. Durch Vermehrung der beschäftigten Bagger soll eine beschleunigte Fertigstellung der beabsichtigten Abmessungen der Rinne erstrebt werden.

Kapitel V.

Für den Hafenbau wichtige Naturerscheinungen.

1. **Flut und Ebbe.** — Allgemeines. — Entstehung der Flut und Ebbe. — Unregelmäßigkeiten. — Beispiele für Flutgrößen und Verhalten der Flutwellen. — Gezeitentafeln, Hafenzeit. — Selbsttätige Gezeitenpegel. — Flutkurven. — Flutwellen. — Tideströmungen, Flut und Ebbe in Flußmündungen.
2. **Wellen.** — Entstehung der Wellen. — Verhalten der Wellen gegen ansteigenden Grund. — Richtung der Wellen. — Verhalten der Wellen beim Einlaufen in Buchten. — Höhe der Wellen. Gewalt der Wellen, Wellenstoßmesser. — Einzelwellen. — Beruhigung der Wellen durch Öl.
3. **Winde.** — Entstehung der Winde. — Ablenkung der Windrichtungen. — Bezeichnung der Windrichtungen, Isobaren. — Bewegungsgesetze. — Arten der Winde, Monsune, Land- und Seewinde, veränderliche Winde. — Stürme. — Windbeobachtungen, Richtung, Stärke, Druck und Geschwindigkeit. — Verwertung der Windbeobachtungen. — Wirkung des Windes auf das Meer, Aufstau der Wasserflächen. — Zusammenstellung von Wasserständen und Wasserstandsschwankungen an der Ostsee. — Sturmfluten. — Zusammenstellung von Wasserständen und Wasserstandsschwankungen an der Nordsee. — Sturmwarnungen und Wetternachrichten. — Nebel. — Eisverhältnisse.
4. **Strömungen.** — Allgemeines und Bezeichnungen. — Strömungen infolge ungleicher Erwärmung des Wassers bezw. infolge verschiedenen spez. Gewichts. — Strömungen infolge von Flut und Ebbe. — Windströmungen und Küstenströme. — Örtliche Strömungen. — Beobachtung der Strömungen, Schwimmer, Logs.

1. Flut und Ebbe.

Allgemeines. Die an allen offenen Meeren beobachtete Erscheinung, daß der Wasserspiegel in regelmäßiger Wiederkehr sich täglich zweimal hebt und senkt, und daß gleichzeitig Strömungen entgegengesetzter Richtung ab-

wechseln, wobei weite Strandflächen regelmäßig mit Wasser bedeckt und wieder frei werden, nennt man Flut und Ebbe oder Tide. Der höchste Stand des Wassers nach dem Steigen oder nach der Flut wird mit Hochwasser und der niedrigste Stand nach dem Fallen oder nach der Ebbe mit Niedrigwasser bezeichnet. Den Höhenunterschied zwischen einem Hochwasser und dem darauf folgenden Niedrigwasser oder auch umgekehrt nennt man Flutgröße, Flutwechsel oder auch Tidehub. Die Zeitdauer einer Tide rechnet man vom Eintreten eines Hoch- oder Niedrigwassers bis zum nächsten, sie ist durchschnittlich gleich der Hälfte der Zeit von einem Monddurchgang durch den Erdmeridian bis zum folgenden, d. h. 12 Stunden, 25 Minuten, 14 Sekunden oder 12,4 Stunden.

Ihre Erklärung findet die Flut- und Ebbeerscheinung in den Wirkungen der Anziehungskraft von Sonne und Mond auf die Erde. Dieser schon von Strabo und Plinius geahnte Zusammenhang wurde später durch Kepler, Newton, Bernoulli und Laplace theoretisch nachgewiesen und in neuerer Zeit besonders durch englische Gelehrte W. Whewell, J. W. Lubbock und G. B. Airy, mit zahlreichen Beobachtungen und Zusammenstellungen verglichen. Neuere Arbeiten über den Gegenstand stammen von Hugo Lentz „Flut und Ebbe und die Wirkung des Windes auf den Wasserspiegel", Hamburg 1879, von Boguslawski und Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, Bd. II, Stuttgart 1887 und von Börgen, „Die harmonische Analyse der Gezeitenbeobachtungen", Berlin 1885. Eine kurze übersichtliche Darstellung der Erscheinung und alles für den Wasserbau Wissenswerte enthält das Werk von Tolkmitt-Bubendey, „Grundlagen der Wasserbaukunst", zweite Auflage, Berlin 1907, aus dem einzelne der nachfolgenden Angaben entlehnt sind.[1])

Entstehung der Flut und Ebbe. In einfacher Weise kann man im Anschluß an die Theorie Newtons eine Vorstellung von der Entstehung der Fluterscheinung erhalten. Denkt man sich die Erde aus einer vollkommen elastischen Kugel mit gleichmäßig verteilter Masse bestehend und ein fluterzeugendes Gestirn, z. B. die Sonne *S*, im Äquator befindlich, so wird nach den Bezeichnungen der Abb. 52 der dem Gestirn nähere Punkt *A* stärker angezogen als der Punkt *C* im Mittelpunkt der Erde. Nach dem Anziehungsgesetz verhalten sich die anziehenden Kräfte zweier Körper unmittelbar wie die Massen und umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen. Ist daher die Anziehungskraft des Gestirns auf den Punkt *C*

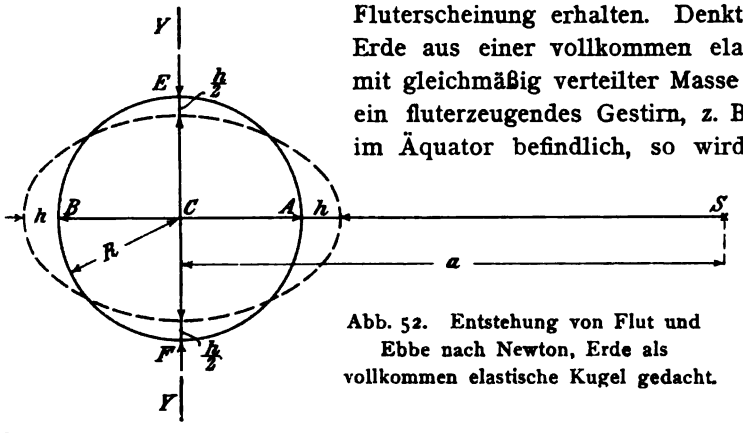


Abb. 52. Entstehung von Flut und Ebbe nach Newton, Erde als vollkommen elastische Kugel gedacht.

[1]) Ferner behandeln den Gegenstand Quinette de Rochement et Henry Desprez in Les ports maritimes, Bd. I, Cordemoy in Les ports modernes, Bd. I und William Shield in Principles and Practice of Harbour Construction.

gleich $\frac{k \cdot m}{a^2}$ (k ein Beiwert, m Masse des Gestirns), so wird der Punkt B mit der Kraft $\frac{k \cdot m}{(a-R)^2}$ angezogen. Die fluterzeugende Kraft für den Punkt A ist dann gleich dem Unterschied der beiden Anziehungskräfte mithin:

$$\frac{k\,m}{(a-R)^2} - \frac{k\,m}{a^2} = \frac{k\,m}{a^2}\left[\frac{1}{\left(1-\frac{R}{a}\right)^2} - 1\right] = \frac{k\,m}{a^2} \cdot \left[\frac{1-1+2\cdot\frac{R}{a}+\frac{R^2}{a^2}}{\left(1-\frac{R}{a}\right)^2}\right]$$

$$= \frac{k\,m \cdot R}{a^3} \cdot \left[\frac{2+\frac{R}{a}}{\left(1-\frac{R}{a}\right)^2}\right]$$

Vernachlässigt man den sehr kleinen Wert $\frac{R}{a}$, so erhält man als flutbildende Größe für den Punkt A den Ausdruck

$$\frac{2\,k \cdot m \cdot R}{a^3},$$

d. h. die fluterzeugende Kraft eines Gestirns ist seiner Masse unmittelbar und der dritten Potenz seiner Entfernung umgekehrt proportional. In gleicher Weise wirkt das Gestirn auf alle übrigen Teile rechts von der Erdachse YY, während die links davon liegenden Teile in gleichem Maße weniger stark angezogen werden. Können nun die Teile der Erde infolge ihrer Verschieblichkeit der Wirkung der anziehenden Kraft des Gestirns folgen, so wird aus dem bisher kreisförmigen Meridian $AFBE$ durch Ausbauchung bei A und dementsprechend bei B und durch die damit notwendig zusammenhängende Abplattung an den Polen bei E und F eine Ellipse und aus dem ganzen Erdkörper ein Umdrehungsellipsoid um die große Achse der Meridianellipse entstehen, und zwar wird einer Erhöhung h bei A und B, proportional zu $\frac{2\,k \cdot m \cdot R}{a^3}$, eine Abplattung $\frac{h}{2}$ an den Polen bei E und F entsprechen. Denkt man sich nun die Erde in Umdrehung versetzt, so bleibt die Ausbuchtung oder Erhöhung der Erdoberfläche an der dem Gestirn zu- und abgewandten Seite. Nach einer Vierteldrehung um die Achse YY wird in dem Punkte A, an dem anfänglich Hochwasser war, nun Niedrigwasser eingetreten sein; nach einer weiteren Vierteldrehung wird in A wieder Hochwasser sein und so fort. Bei einem Orte der Erde tritt demnach im Verlauf einer vollen Umdrehung in 24 Stunden zweimal Hochwasser und zweimal Niedrigwasser ein, oder, mit anderen Worten, es laufen gleichzeitig zwei Flutwellen um die Erde herum.

Als fluterzeugende Gestirne kommen für die Erde nur die Sonne und der Mond in Betracht. Das Verhältnis der Wirkung beider Gestirne läßt sich leicht ermitteln. Nimmt man die Masse der Erde und den Erddurchmesser am Äquator als Einheiten an, so ist

die Masse der Sonne	319 500	
„ „ des Mondes	0,0125	und
die mittlere Entfernung der Sonne .	11 600	
„ „ „ des Mondes	30;	

mithin ergibt sich das Verhältnis der fluterzeugenden Kraft von Mond zu Sonne wie

$$\frac{0{,}0125}{30^3} : \frac{319\,500}{11\,600^3} = \text{rd. } 2{,}25 : 1,$$

d. h, die fluterzeugende Kraft des Mondes ist 2¼mal so groß als die der Sonne; daher ist die durch den Mond hervorgerufene Flut-erscheinung in erster Linie maßgebend für die Erde, die durch die Sonne hervorgerufenen Fluten wirken nur verstärkend oder abschwächend.

Unregelmäßigkeiten. Da nun die Stellung von Sonne und Mond zueinander und zur Erde sich ständig ändert, wird die Flutgröße einem ständigen Wechsel unterworfen sein. Stehen Sonne und Mond auf einer Geraden entweder auf derselben oder auf verschiedenen Seiten der Erde, so werden die Sonnen- und Mondflut sich gegenseitig verstärken, zur Zeit des

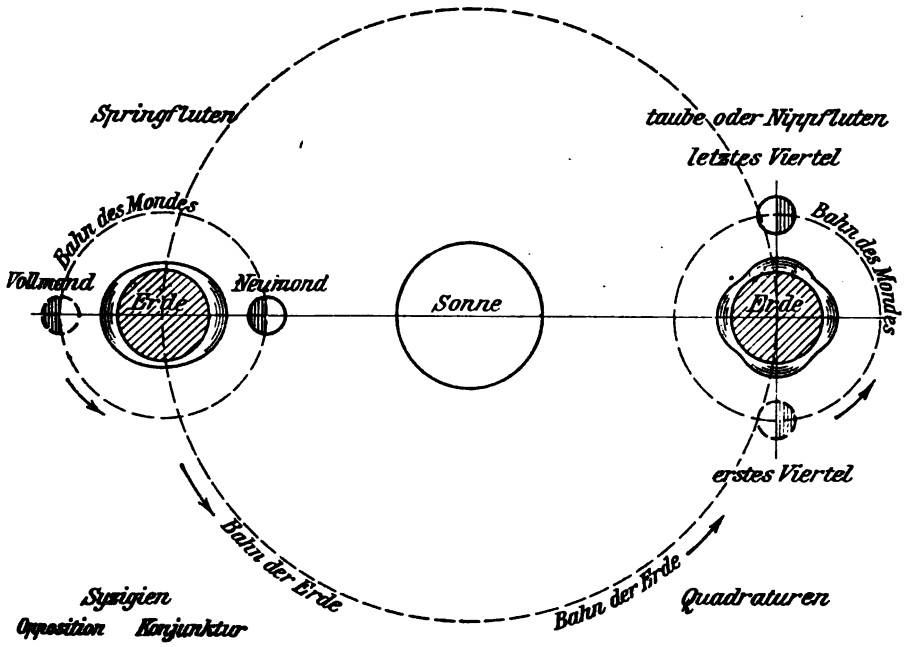


Abb. 53. Erläuterung der Entstehung der halbmonatlichen Ungleichheiten von Flut und Ebbe.

Voll- oder Neumondes oder zu den Syzygien treten daher besonders hohe Fluten, die Springfluten, auf (Abb. 53 links). Wenn dagegen die Verbindungslinien von den Sonne-, Erd- und Mondmittelpunkten einen rechten Winkel bilden, Sonne und Mond in der Quadratur stehen, so entstehen, streng genommen, vier Wellen, die sich zum Teil gegenseitig vernichten; zur Zeit des ersten und letzten Mondviertels entstehen daher besonders schwache Fluten, die tauben Fluten oder Nippfluten (Abb. 53 rechts). Zwischen diesen Grenzfällen findet ein allmählicher Übergang statt; bei den tauben Tiden weichen Hochwasser und Niedrigwasser weniger von dem Mittelwasserstand ab als bei Springtiden, wie dies Abb. 54 veranschaulicht. In der vorbeschriebenen, ständig sich ändernden Stellung von Sonne und Mond zur Erde finden die halbmonatlichen Ungleichheiten der Flutgrößen ihre Erklärung.

Da nun ferner die fluterzeugenden Gestirne, besonders der Mond, meist nicht im Äquator stehen, so tritt auch noch eine tägliche Ungleichheit in den aufeinanderfolgendenFlutgrößen ein, deren Entstehung durch Abb. 55 erklärt wird. Befindet sich das flutbildende Gestirn S z. B. südlich vom Äquator, so wird die Erdoberfläche die durch gestrichelte Linien dargestellte Form annehmen. Erreicht nun für einen Ort A auf der nördlichen Halbkugel die Flutgröße den Wert h, so wird nach einer halben Umdrehung der Erde der Ort A nach A' gelangt sein und dort nur die offenbar kleinere Flutgröße h' erlangen. Da nun die Abweichung der Sonne und des Mondes von der Äquatorebene sich täglich ändert, so werden auch die täglichen Ungleichheiten regelmäßige Abweichungen erfahren. Bei der Sonne wird die Deklination zur Zeit der Sonnenwende mit $23^1/_2{}^\circ$ am größten und zur Zeit der Äquinoktien gleich Null; die Deklination des Mondes wechselt innerhalb eines Mondmonats in etwa $27^1/_3$ Tagen und wird hierbei zur Zeit der Syzygien zweimal zu Null, ihre Größe schwankt außerdem noch in etwa 19 Jahren zwischen $18^1/_2$ und $28^2/_3{}^\circ$. Die stärksten Fluten im Jahre werden daher zu den Äquinoktien entstehen, wenn sich Sonne und Mond gleichzeitig im Äquator befinden.

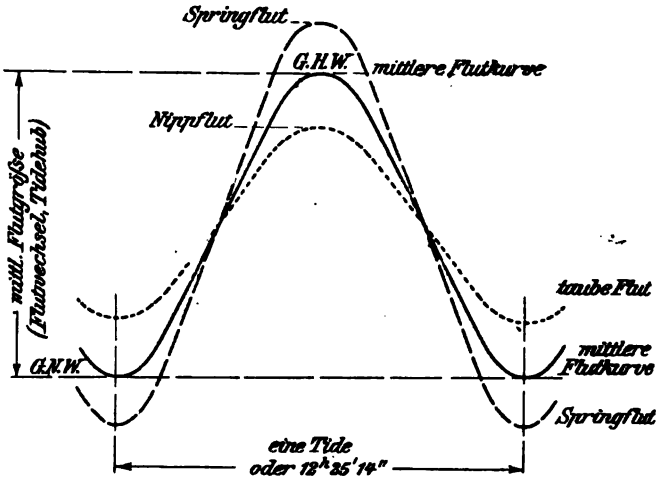


Abb. 54. Darstellung der halbmonatlichen Ungleichheiten durch Flutkurven.

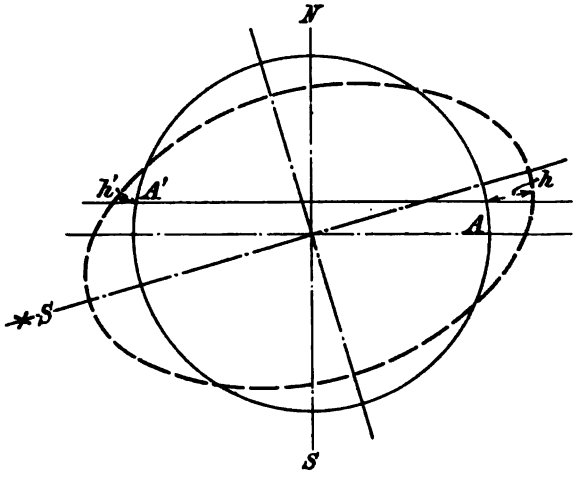


Abb. 55. Erläuterung der täglichen Ungleichheiten von Flut und Ebbe an einem Orte.

Weitere Unregelmäßigkeiten werden ferner durch die Veränderlichkeit der Entfernungen von Sonne und Mond von der Erde hervorgerufen, da sowohl die Bahn der Erde um die Sonne als auch die des Mondes um die Erde Ellipsen sind; die anziehende Wirkung wird, da sie dem Quadrat der Entfernungen umgekehrt proportional ist, zu den Zeiten der Sonnen- und Mondnähe größer sein als zu den Zeiten der größeren Entfernungen.

Wenn nun auch die Fluterscheinungen mit den aus der Theorie abgeleiteten Anschauungen in vielen Punkten darin übereinstimmen, daß die durch die Stellung der Gestirne bedingten Ungleichheiten tatsächlich nachweisbar sind, so weisen die wirklichen Fluterscheinungen doch mannigfache, schwer theoretisch erklärbare Abweichungen auf. Da die Erdkugel, wie bei den theoretischen Betrachtungen vorausgesetzt wurde, nicht gleichmäßig mit Wasser bedeckt ist, sondern durch die Erdteile in unregelmäßige, zum Teil wenig zusammenhängende Meere mit sehr verschiedener Wassertiefe zerteilt ist, so können die durch Sonne und Mond erzeugten Flutwellen sich nicht regelmäßig entwickeln, sondern erfahren vielfache Ablenkungen und Umgestaltungen.

Am vollkommensten gelangt die Flutwelle in den mehr zusammenhängenden Meeresteilen südlich vom Äquator, besonders im großen Ozean, zur Entwicklung, aber ihr Fortschreiten wird bald durch vorgelagerte Erdteile gehemmt und ihre ursprüngliche Bewegungsrichtung abgeändert. Man sieht die zu uns gelangende Flutwelle als einen Zweig jener südlichen Hauptwelle an und erklärt durch den langen Weg, den die Flutwelle bis zu uns zu durchlaufen hat, die Erscheinung, daß die Springfluten nicht mit Voll- bezw. Neumond und die tauben Fluten nicht mit dem ersten oder letzten Viertel zusammenfallen, sondern erst zwei bis drei Tage nach den Syzygien bezw. nach den Quadraturen eintreten. Der Verlauf der Flutwellen im offenen Meere, ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit und die Flutgröße sind uns unbekannt, da wir die Erscheinung erst an den Küsten beobachten können. So viel scheint aber festzustehen und führt zur Erklärung mancher Beobachtung, daß die einmal entstandenen Flutwellen sich nach denselben Gesetzen bewegen wie die durch Wind oder andere Ursachen erzeugte Wellen, daß sie durcheinander fortschreiten, ohne sich zu zerstören, daß sie beim Einlaufen in trichterförmig sich verengende Buchten ansteigen oder bei plötzlichen Erweiterungen sinken und endlich bei allmählich oder plötzlich ansteigendem Grund verzögert werden, überstürzen oder branden. Durch diese Vorstellungen lassen sich viele an den Küsten beobachtete Fluterscheinungen erklären.

Nach theoretischen Berechnungen ergibt sich im offenen Meere für die Sonnenwelle bei mittlerer Entfernung der Sonne eine Flutgröße von 0,25 m, und ebenso für die Mondwelle eine solche von 0,55 m; infolgedessen wird bei Springfluten die Flutgröße im Ozean rd. 0,80 m betragen, also nur eine geringe Ausdehnung besitzen. Diesen Werten entsprechen auch die an einzelnen Inseln beobachteten Werte wie 1,2 m bei den Azoren, 1 m bei St. Helena, 0,6 m bei Ascension, 1 m bei Mauritius und Réunion, 0,6 m bei Honolulu und 0,3 m bei Tahiti, aber auch da kommen Abweichungen vor, indem z. B. bei den Fidji-Inseln im Großen Ozean die Flutgröße 2 m beträgt.

Beispiele für Flutgrößen und Verhalten der Flutwellen. An der westeuropäischen Küste dagegen erreichen die Flutgrößen weit höhere Werte, die durch das Ansteigen des Grundes und die oft buchtförmige Gestalt der Küste erklärt werden können; einige Beispiele dafür sind:

		Flutwechsel bei Springtide	bei Nipptide	
Spanische Küste	Tajo-Mündung	3,5 m	— m	
	La Coruna	3,9 „	2,8 „	
französische Westküste	Cordouan, Adour-Mündung	2,7 „	1,4 „	
	St. Nazaire, Loire-Mündung	4,9 „	2,3 „	
französische Nordküste	Brest	6,2 „	2,6 „	
	St. Malo	10,7 „	4,4 „	in breiter, tieferBucht gelegen
	Granville	**11,7** „	**5,1** „	in breiter, tieferBucht gelegen
	Havre	6,8 „	3,5 „	
	Dünkirchen	5,2 „	2,9 „	
belgische Küste	Zeebrügge	4,6 „	3,0 „	
	Vlissingen	4,6 „	2,9 „	
englische Südküste	Plymouth	4,7 „	2,6 „	
	Southampton	4,0 „	1,8 „	
	Dover	5,7 „	3,4 „	
englische Westküste	Lundy Island, Mündung des Bristol-Kanals	8,2 „	4,0 „	
	Liverpool, Leuchtschiff	7,6 „	4,6 „	
	Greenock, Mündung des Clyde	3,0 „	2,0 „	
englische Ostküste	Themse-Fluß, Mündung bezw. London	4,9 bzw. 6,3	3,2 bzw. 4,2	
	Tyne-Mündung	4,5 m	2,4 m	
	Peterhead	3,5 „	2,1 „	

Die Erhöhung der Flutgröße beim Einlaufen in trichterförmige Buchten zeigt der Bristol-Kanal an der Südwestküste Englands (Abb. 56), dort ist z. B.

	in der Entfernung vom Anfangspunkt	die Breite	die Flutgröße bei Springtide
bei Lundy Island	0 km	68,0 km	8,2 m
„ Nash Point	78 „	18,5 „	10,0 „
„ Cardiff	117 „	14,8 „	11,4 „
an der Mündung des Avon	143 „	7,4 „	12,2 „

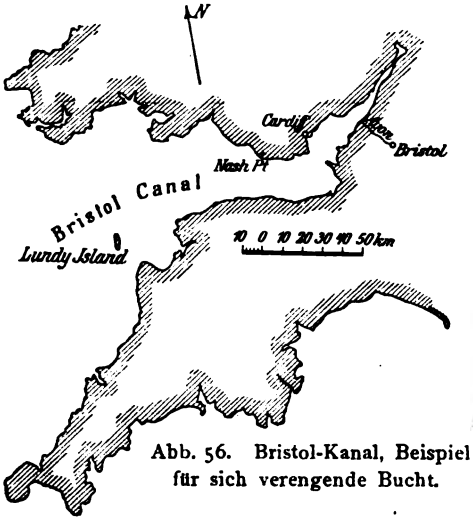


Abb. 56. Bristol-Kanal, Beispiel für sich verengende Bucht.

In noch stärkerem Maße erfolgt das Steigen des Tidehubs in der

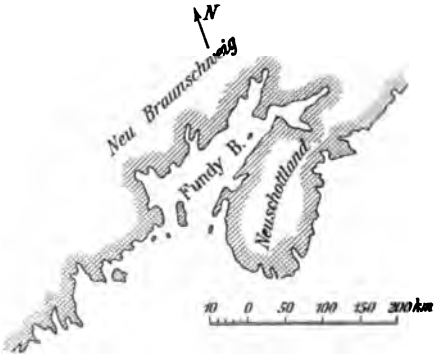


Abb. 57. Fundy Bay, Beispiel für sich verengende Bucht.

Fundy Bay in Nordamerika zwischen Neu-Braunschweig und Neu-Schottland (Abb. 57), wo die Flutgröße von 2,5 m am Anfang bis auf 15 m am Ende anwächst.

Für die umgekehrte Erscheinung des Sinkens der Flutgröße bei der Ausbreitung der Flutwelle in weiten Buchten mit engem Eingang bietet die Zuider See (Abb. 58) ein Beispiel; dort beträgt die Flutgröße bei Springtide:

bei Harlingen . . . . . 1,25 m
„ Enkhuizen . . . . . 0,53 „ und
„ Amsterdam . . . . . 0,37 „

Wie die oben angeführten Beispiele von verschiedenen Punkten der westeuropäischen Küste zeigen, bestehen zwischen den Flutgrößen bedeutende Verschiedenheiten; noch größere Unterschiede findet man, wenn man die Eigentümlichkeiten der Fluterscheinung in der Nordsee betrachtet. Hier tritt der Fall ein, daß die ursprüngliche, vom Ozean aus südlicher Richtung ankommende Flutwelle durch die britische Inselgruppe in zwei Arme gespalten wird, die jeder für sich ihren Lauf fortsetzen und auf verschiedenen Wegen, der eine durch den Kanal und der andere um Schottland herum, in die Nordsee gelangen. Da sowohl die Wege der beiden Flutwellenarme als auch ihre Geschwindigkeiten verschieden groß sind, so treffen in der Nordsee Flutwellen verschiedenen Alters zusammen und verstärken sich bei ihrer Durchdringung, wenn Hochwasser mit Hochwasser, oder schwächen sich, wenn Hochwasser mit Niedrigwasser zusammentrifft. So kann man die auffallende Erscheinung erklären, daß an der ganzen holländischen Küste eine verhältnismäßig geringe Flutgröße beobachtet wird, während sowohl an der benachbarten belgischen und französischen Küste auf der einen Seite und an der deutschen Nordseeküste auf der anderen Seite, ferner an der gegenüberliegenden englischen Küste ein um ein Vielfaches größerer Flutwechsel beobachtet wird, wie sich aus dem Vergleich der nachstehenden Zahlen mit den in der Zusammenstellung der westeuropäischen Küstenpunkte und den weiter unten angegebenen Orten an der deutschen Nordseeküste ergibt. Es beträgt an der holländischen Küste z. B.

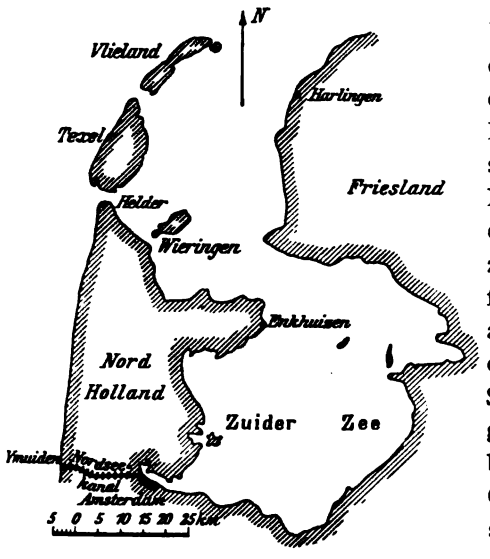


Abb. 58. Zuider See, Beispiel für sich erweiternde Bucht.

bei Ymuiden die Flutgröße bei Springtide 1,8 m
„ Nieuwe Diep „ „ „ „ 1,3 m.

In ähnlicher Weise sind die auffallenden Erscheinungen in der Irischen See zu erklären. Dort findet am St. Georgs-Kanal bei Courtown kaum ein bemerkbarer Flutwechsel statt, während südlich und nördlich davon der Flut-

wechsel schnell zu bedeutender Höhe anwächst und an der gegenüberliegenden, nur 40 km entfernten englischen Küste bei Springfluten 4,9 m beträgt.

Diese Unregelmäßigkeiten zeigen, daß es unmöglich ist, von der Kenntnis der Flutverhältnisse eines Ortes auf die eines benachbarten zu schließen; noch viel weniger ist es möglich, derartige Folgerungen für verschiedene Meere anzustellen, wenn man erfährt, daß an der nur 60 km breiten Landenge von Panama auf der einen Seite bei Colon der Flutwechsel 0,3 m und auf der anderen Seite bei Panama 6 m beträgt.

An manchen Orten findet täglich nur eine Flut statt, während die andere vermutlich durch Interferenz vernichtet wird, so z. B. an der Westküste des Golfs von Mexiko und in der Bucht von Tonking.

An der deutschen Nordseeküste treten bemerkenswerte Unregelmäßigkeiten nicht auf, die Flutgröße ist an den friesischen Inseln geringer als an der Küste und verstärkt sich in den Buchten der Jade, Weser und Elbe; außerdem ist der Unterschied zwischen Spring- und Nippflut weniger bedeutend, z. B. in Kuxhaven nur 0,4 m.

Die mittlere Flutgröße beträgt

bei Borkum	2,50 m	bei Bremerhaven . .	3,30 m
„ Wangeroog	2,50 „	„ Kuxhaven	2,85 „
„ Rotesandleuchtturm .	2,70 „	„ Hamburg	1,80 „
„ Helgoland	2,00 „	„ Tönning	2,55 „
„ Emden	2,80 „	„ List Ellenbogen . .	1,60 „
„ Wilhelmshaven . .	3,50 „		

Das Einlaufen von zwei Flutwellen in die Nordsee führt an der deutschen Nordseeküste zu bedeutenden Vergrößerungen der angegebenen Werte, wenn durch starke Winde eine oder die andere Flutwelle beschleunigt oder zurückgehalten wird und beide Flutwellen durch gleichzeitiges Eintreffen ihre Höhe verdoppeln.

Dieser Fall tritt besonders nach langanhaltenden, starken, westlichen Stürmen an der deutschen Nordseeküste ein; es wird dann die durch den Kanal laufende Welle beschleunigt und verstärkt, so daß sie mit der um Schottland herumkommenden gleichzeitig eintrifft. Die dann eintretenden sogenannten Sturmfluten überschreiten oft das Doppelte der gewöhnlichen Höhe. Wie weiter unten in dem Abschnitt über Winde ausgeführt wird, spielt bei dem Zustandekommen der Sturmfluten der Wind die Hauptrolle, das Zusammentreffen eines starken Sturmes mit besonders hohen Fluten ist von geringerer Bedeutung.

In den nur durch einen engen Kanal zugänglichen Binnenmeeren, wie in der Ostsee und in dem Mittelländischen Meere, machen sich die Flut-erscheinungen nur wenig bemerkbar; sie werden durch die vom Winde hervorgerufenen Wasserstandsschwankungen bei weitem übertroffen. Während bei Skagen die mittlere Flutgröße noch 0,28 m beträgt, nimmt sie an der deutschen Ostseeküste auf wenige Zentimeter ab; doch ist das Vorhandensein von regelmäßigen Flutwellen durch die eingehenden Untersuchungen Gotthilf Hagens bis zur deutschen Ostgrenze, wo sie allerdings nur noch einige Milli-

meter Höhe haben, nachgewiesen worden. Flut und Ebbe spielen daher bei Hafenbauten in der Ostsee praktisch keine Rolle.

Im Mittelländischen Meere beträgt die mittlere Flutgröße bei Gibraltar 0,6 m, an der französischen Küste etwa 0,3 m und in dem Adriatischen Meere am Eingang bei Corfu nur 0,06 m, weiter hinauf jedoch bei Venedig 0,6 m und bei Triest etwa 0,7 m. Hierbei zeigen die Fluterscheinungen im Vergleich mit denen im Atlantischen Ozean insofern gewisse Gegensätze, als z. B im Adriatischen Meere in den Fluterscheinungen eine volle Übereinstimmung zwischen Rechnung und Wirklichkeit festgestellt ist und als dort Spring- und Nipptiden ohne Verspätung genau zu den Syzygien eintreten und ferner bei Toulon das Eintreten der Springtiden mehrere Stunden vor den Syzygien beobachtet wird.

Gezeitentafeln, Hafenzeit. Aus den geschilderten großen Verschiedenheiten der Fluterscheinungen ist leicht ersichtlich, daß es ausgeschlossen ist, auf theoretischem Wege für einen bestimmten Ort die durch Flut und Ebbe hervorgerufenen und für den Hafenbau wichtigen Erscheinungen zu ermitteln.

Für diese Zwecke ist erforderlich, die voraussichtlichen Zeiten des Eintreffens der Flut, die Flutgröße und die dabei auftretenden Strömungen zu kennen. Durch zahlreiche, über einen möglichst langen Zeitraum ausgedehnte Beobachtungen des Wasserstandes, mit Rücksicht auf die Veränderlichkeit der Deklination des Mondes auf über 18,6 Jahre, lassen sich die Unterlagen gewinnen, um für einen bestimmten Ort die Hochwasserzeit und Flutgröße im voraus zu berechnen. Das Ergebnis dieser Berechnungen wird jährlich vom Reichsmarineamt in den „Gezeitentafeln" veröffentlicht und enthält für eine große Zahl von Häfen und Küstenpunkten und für jeden Tag im Jahre vorausberechnete Angaben über die zu erwartende Flutgröße und über die Zeit ihres Eintreffens, ferner tatsächliche Angaben über die mittlere Flutgröße vieler Orte, die mittlere Dauer des Steigens und Fallens usw.

Für das Eintreffen des Hochwassers wird der allgemein übliche Ausdruck „Hafenzeit" angewandt; unter Hafenzeit eines Ortes versteht man diejenige Uhrzeit, zu welcher das Hochwasser am Tage des Voll- oder Neumondes eintritt. Die Kenntnis der Hafenzeit eines Ortes ist besonders für geschlossene Häfen von Wichtigkeit, da sie die Zeit angibt, zu der die Dockschleusen offenstehen, die Schiffe ein- und auslaufen können und in den Zufahrten die größte Wassertiefe vorhanden ist.

Durch den Vergleich der Hafenzeiten verschiedener Orte kann man ferner eine Vorstellung über das Fortschreiten der Flutwelle gewinnen, wobei man aber nicht außer acht lassen darf, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im tiefen, offenen Meere eine andere als an der flachen, mit Hindernissen versehenen Küste, an der meist die Beobachtungsstellen liegen. Es ist z. B.

für	Texel	die	Hafenzeit	6	Std.	0	Min
„	Terschelling	„	„	8	„	40	„
„	Ameland	„	„	9	„	0	„
„	Borkum	„	„	10	„	44	„
„	Norderney	„	„	11	„	11	„
„	Wangeroog	„	„	11	„	37	„
„	Helgoland	„	„	11	„	48	„
„	List Ellenbogen	„	„	1	„	28	„

Selbsttätige Gezeitenpegel. Zur Beobachtung der durch Ebbe und Flut hervorgerufenen Wasserstandsschwankungen benutzt man der ständigen Veränderung des Wasserspiegels wegen an Stelle von Einzelablesungen am besten selbstzeichnende Schwimmerpegel. An diesen erfolgt die Aufzeichnung des Wasserstandes in jedem Augenblick durch einen mit einem Schwimmer verbundenen Schreibstift auf einer lotrecht oder wagerecht gelagerten, mit einem Papierbogen versehenen Walze, die durch ein Uhrwerk in 24 Stunden einmal herumgedreht wird. In Deutschland sind zu diesem Zwecke mehrere Apparate nach dem System Seibt-Fueß, z B. an der Unterelbe und in Sylt aufgestellt worden. Von diesen, selbsttätige Gezeitenpegel genannten Apparaten stellt Abb. 59 eine Gesamtansicht dar, in der die wesentlichen Teile erkennbar sind und hinsichtlich dessen genauerer Beschreibung auf die unten angegebene Quelle verwiesen wird.[1]) Hier sei nur erwähnt, daß die Bewegungen des Schwimmers durch einen Zahntrieb auf $^1/_5$ der natürlichen Größe verringert werden und daß besondere Einrichtungen getroffen sind, um den Papierbogen für die Aufzeichnungen der Tiden einer längeren Periode,

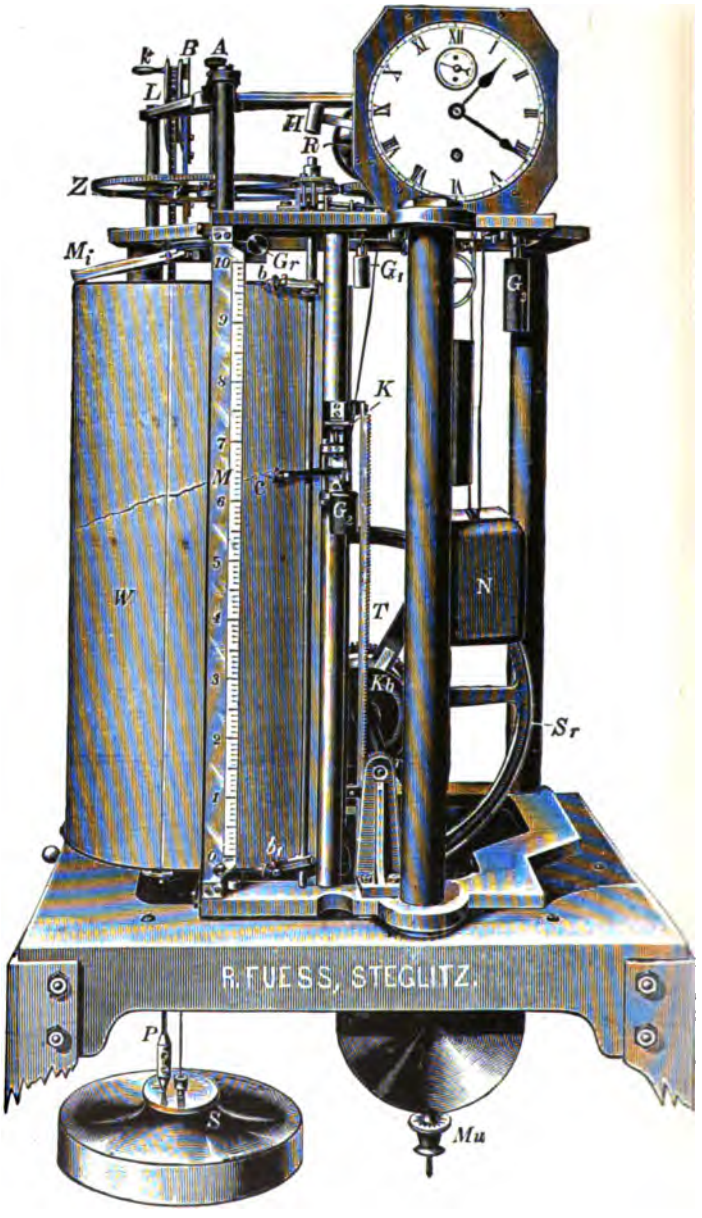


Abb. 59. Selbsttätiger Gezeitenpegel System Seibt-Fueß.

[1]) Zentralblatt der Bauverwaltung 1897, S. 563. Der selbsttätige Gezeitenpegel (System Seibt-Fueß).

z. B. von Vollmond zu Neumond auf der Walze belassen zu können, damit die Wasserstandsschwankungen der einzelnen Tiden übersichtlich nebeneinander und leicht vergleichbar dargestellt erhalten werden.

Flutkurven. Die Aufzeichnungen des Apparates erscheinen in sogenannten Flutkurven, bei denen nach der Länge die Zeiten und nach der Höhe die Wasserstände aufgetragen sind. Die Flutkurven stellen das Gesetz des Steigens und Fallens des Wasserspiegels an dem Beobachtungs-

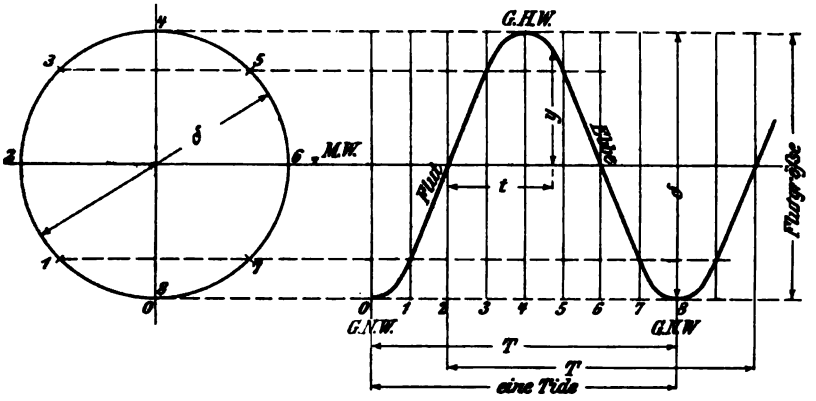


Abb. 60. Ableitung der Flutkurve als Sinuslinie.

orte dar, sie bilden ferner ein gutes Mittel, die Art und Weise der Veränderung der Wasserstände deutlich und leicht übersehbar vor Augen zu führen und weiteren Einblick in die Fluterscheinungen zu ermöglichen.

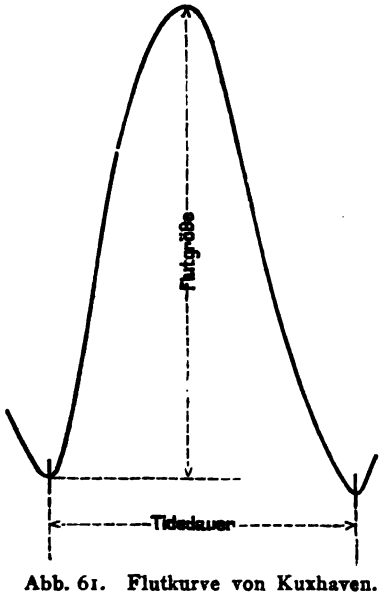


Abb. 61. Flutkurve von Kuxhaven.

Auch die Flutverhältnisse verschiedener Orte kann man leicht vergleichen, wenn man ihre Flutkurven in gleichen Längen- und Höhenmaßstäben unter- oder nebeneinander aufträgt.

Im offenen Meere kommt die Flutkurve der Form der Sinuslinie sehr nahe. Diese Linie kann man zeichnerisch leicht herstellen, indem man eine Gerade von der Länge T gleich einer Flutperiode und einen Kreis von dem Durchmesser δ gleich der Flutgröße in gleich viele, z. B. acht Teile teilt, mit Ziffern versieht und die durch die gleichlautenden Ziffern gelegten wagerechten und lotrechten Hilfslinien zum Schnitt bringt, Abb. 60. Als Gleichung für diese Kurve gilt, bezogen auf Mittelwasserhöhe:

$$y = \frac{\delta}{2} \cdot \sin \frac{2\pi t}{T}.$$

Von dieser Form weichen die an einzelnen Küstenorten durch die Pegel aufgezeichneten Flutkurven je nach den besonderen örtlichen Verhältnissen mehr oder weniger ab. So zeigt z B. die durch Abb. 61 wiedergegebene

Flutkurve von Kuxhaven zwar einen der Sinuslinie ähnlichen Verlauf, aber auch einige Abweichungen insofern, als die Flutdauer geringer als die der Ebbe ist und dementsprechend die Linie während der Flut steiler und während der Ebbe flacher als die Sinuslinie ist; außerdem erreicht das zweite Niedrigwasser infolge der täglichen Ungleichheit nicht die Höhe des ersten. Noch mehr kommt diese Unregelmäßigkeit in den durch Abb. 62 dargestellten Flutkurven von Singapore[1]) zum Ausdruck, wo Unterschiede bis zu 1,83 m zwischen zwei aufeinanderfolgenden Niedrigwasserständen beobachtet sind.

An den Flutkurven der holländischen Küsten macht

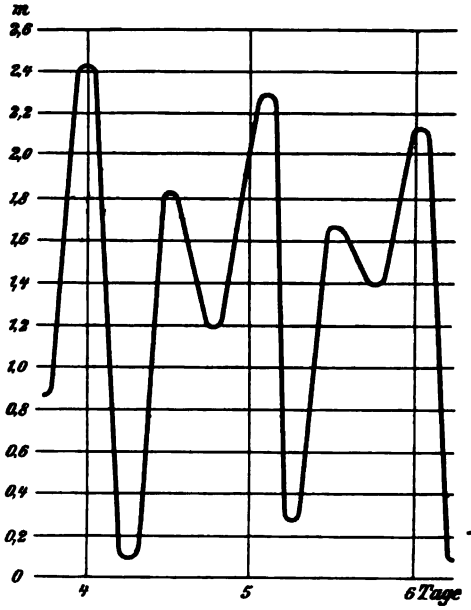


Abb. 62.
Flutkurve von Singapore, Beispiel für starke tägliche Ungleichheiten.

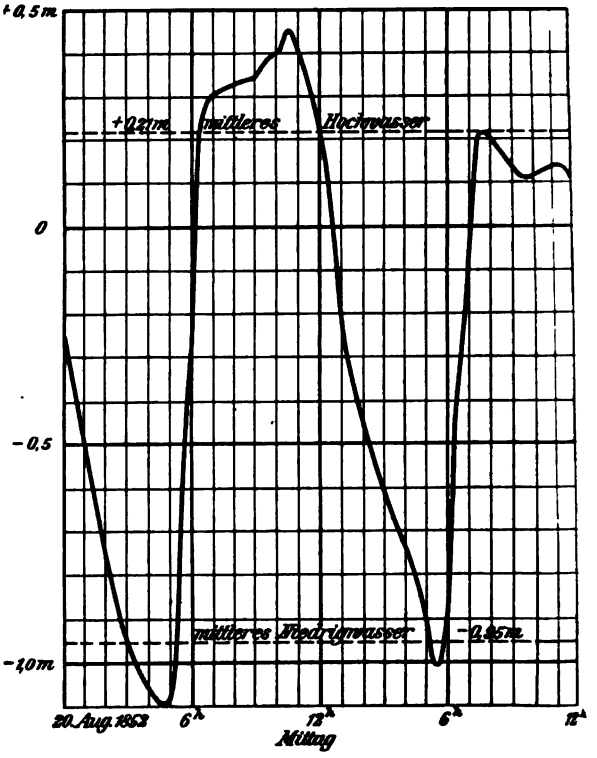


Abb. 63. Flutkurve vom Helder in Holland, Beispiel von Unregelmäßigkeiten bei Hochwasser, hervorgerufen durch Interferenz.

sich besonders die Interferenz der beiden dort zusammenlaufenden Flutwellen bemerkbar durch geringere Flutgröße und durch das unregelmäßige Steigen und Fallen des Wasser in der Nähe von Hochwasser, wie es die durch Abb. 63 dargestellte Flutkurve zeigt.[2]) In Ymuiden und am Hoek van Holland tritt die gleiche Unregelmäßigkeit in der Nähe des Niedrigwassers auf.

Aus ähnlichen Gründen zeigt die Flutkurve von Southampton, vgl. Abb. 64, zwei deutliche Hochwasser;[3]) dort steigt das Wasser nach dem Niedrigwasser etwa 7 Stunden lang bis zum ersten Hochwasser, fällt dann in einer Stunde um 0,20 m und steigt dann wieder in 1¼ Stunden zur ersten

[1]) Quinette de Rochemont et Henry Desprez, Cour des Travaux maritimes, S. 7.
[2]) Lentz, Flut und Ebbe.
[3]) Shield, Principles and Practice of Harbour Construction, S. 54.

Höhe, um dann sehr schnell zum Niedrigwasser abzufallen, so daß die Ebbe nur $3^1/_4$ Stunden dauert. Die umgekehrte Erscheinung tritt an dem Wellen-

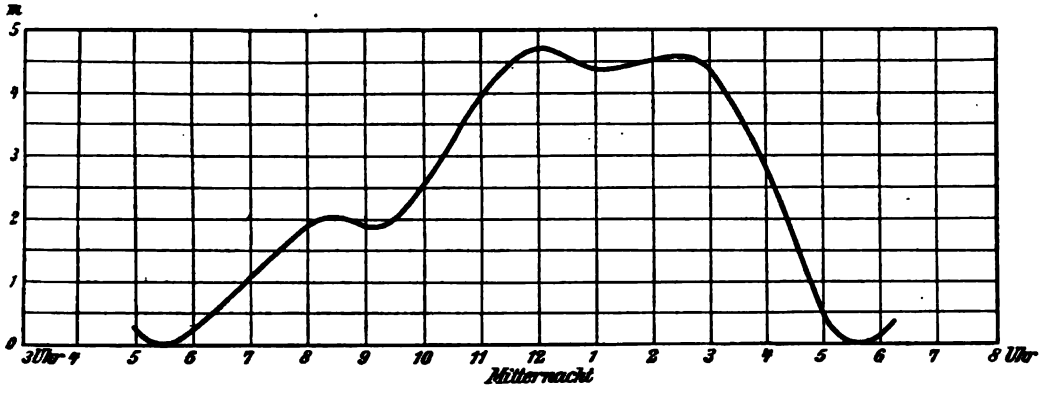


Abb. 64. Flutkurve von Southampton, Beispiel mit zwei Hochwassern.

brecher des Hafens von Portland ein, Abb. 65, wo 5 Stunden nach dem Hochwasser das erste Niedrigwasser und 3 Stunden später das zweite erscheint.

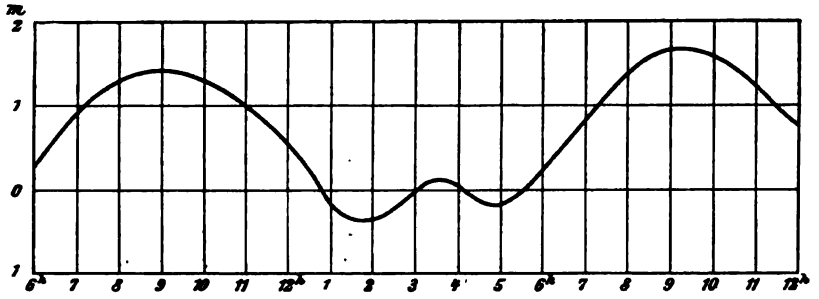


Abb. 65. Flutkurve von Portland, Beispiel mit zwei Niedrigwassern.

Wie vorstehende Beispiele zeigen, gewähren die durch Pegelaufzeichnungen erhaltenen Flutkurven einen besonders klaren Einblick in die Tideverhältnisse eines Ortes. Durch weitere Bearbeitungen einer großen Reihe solcher Beobachtungen lassen sich die für den Hafenbau wichtigen Grundlagen gewinnen, z. B. die Elemente für die Berechnung der Tidetabellen, die Werte für mittleres Hoch- und Niedrigwasser, für die überhaupt höchsten und niedrigsten Wasserstände usw.

Erwähnt sei noch, daß an vielen Küstenorten an Stelle der Bezeichnungen Mittelhochwasser oder Niedrigwasser auch die Bezeichnung gewöhnliches oder ordinäres Hoch- oder Niedrigwasser gebraucht wird, und daß das Mittelhochwasser häufig allen Höhenangaben als Nullpunkt zugrunde gelegt wird.

Flutwellen. In der Flutkurve hat man gleichzeitig die Form der Flutwellen, wenn man sich die Kurven so langgestreckt denkt, daß die Wellenlänge L der Dauer einer Tide, d. h. 12,4 Std. oder 44 600 Sek. entspricht. Ihre Gleichung lautet, wenn für die Längen die Bezeichnung x eingeführt wird:

$$y = \frac{\delta}{2} \sin \frac{2\pi x}{L}.$$

Im Vergleich zu Meereswellen besitzen die Flutwellen eine sehr viel größere Länge und Schwingungsdauer T, da sie 12,4 Std. brauchen, um an einem Beobachtungsort vorüberzulaufen oder einen Weg gleich ihrer Länge zurückzulegen. Da die Flutwellen im offenen Meere reine Schwingungswellen sind, so hängt ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Länge mit der Wassertiefe zusammen; auf flacherem Wasser werden beide abnehmen, während gleichzeitig die Höhe zunimmt. Über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Flutwellen im offenen Meere fehlen genaue Angaben, dagegen läßt sich für ihr Vordringen in Meeresarme und Strommündungen aus dem Vergleich der Hafenzeiten ein Anhalt gewinnen; z. B. erreicht die Flutwelle bei Springflut Borkum um 10 Uhr 44 Min. und Helgoland um 11 Uhr 48 Min., sie braucht mithin 64 Min. oder 3840 Sek., um rd. 100 km zurückzulegen, und schreitet daher mit $u = \frac{100\,000}{3840} =$ rd. 26 m/Sek. fort; der gleiche Wert ist zwischen Helgoland und Kuxhaven ermittelt worden, er beträgt beim Einlaufen der Flutwelle in die Elbmündung auf der Strecke von Kuxhaven bis Brunsbüttel nur noch 6 bis 8 m/Sek.

Da der Zusammenhang zwischen Schwingungsdauer T, Fortschrittsgeschwindigkeit u und Wellenlänge L durch die Beziehung

$$L = u \cdot T$$

gegeben ist und $T = 44\,600$ Sekunden ist, so läßt sich aus einer beobachteten Fortpflanzungsgeschwindigkeit die zugehörige Wellenlänge berechnen; z. B. würde für den obengenannten Fall sich ergeben:

$$L = 26 \cdot 44\,600 = \text{rd. } 1160 \text{ km},$$

ein in der Nähe der Küsten mehrfach beobachteter Wert.

Tideströmungen. Neben dem Steigen und Fallen des Wasserstandes beobachtet man bei den Flut- und Ebbeerscheinungen wechselnde Strömungen, die sogenannten Tideströmungen. Im offenen Meere machen sie sich kaum bemerkbar, wohl aber in Meeresarmen und Buchten, wo sie unter Umständen große Heftigkeit erreichen und daher für Bauten an der Küste von maßgebender Bedeutung sind. Näheres über diese Strömungen wird in dem besonderen Abschnitte über Strömungen angegeben.

Zu erwähnen ist noch, daß sowohl die Veränderungen des Luftdrucks als auch starke Winde die Ausbildung der Flutwellen beeinflussen. Einem ausgedehnten Gebiet hohen Luftdrucks wird das leicht verschiebliche Wasser nachgeben, so daß ein Sinken des Wasserstandes eintritt, bei plötzlichem Nachlassen des Druckes wird das verdrängte Wasser zurücklaufen und im Verein mit Flutwellen besonders hohe Anschwellungen erzeugen. Eine Bestimmung der Wirkung des Luftdrucks in bezug auf die Veränderungen der Flutgrößen und eine genaue Klärung des zweifellos vorhandenen Einflusses ist bisher nicht erfolgt und auch nur schwer möglich. Klarer erkennbar ist dagegen der Einfluß starker Winde auf die Fluterscheinung; es ist festgestellt worden, daß der Wind die Flutwellen bedeutend erhöht, nach W. Wheeler bis auf 1/4 ihrer Höhe, und daß er ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit beschleunigt, wodurch z. B. an der Nordseeküste, wie auf S. 126 erwähnt, zum Teil die Entstehung der Sturmfluten miterklärt wird. Aber auch den Windeinfluß kann man nicht in eine bestimmte Formel kleiden, aus der man die

zu erwartende Fluterhöhung bei bestimmten Windstärken berechnen könnte, da ihre Richtung und Stärke ständigem Wechsel und auch den örtlichen Verhältnissen zu sehr unterworfen ist.

Flut und Ebbe in Flußmündungen. Durch die an den Flußmündungen vorbeieilenden Flutwellen wird auch im Flusse eine Flutwelle hervorgerufen, deren Bedeutung von der Flutgröße des Meeres an der Mündung abhängt. Es entspricht jeder Meerestide auch eine Tide im Flusse, wodurch in regelmäßiger Wiederkehr ein Steigen und Fallen des Wassers und die Entstehung von Ebbe- und Flutströmungen hervorgerufen wird. Gleichzeitig wird der Abfluß des Binnenwassers beeinflußt. Abgesehen von dem Vorhandensein des letzteren, verhält sich die Flutwelle bei dem Einlaufen in eine Flußmündung ähnlich wie in einer langgestreckten Meeresbucht. Von der Weite und Tiefe der Mündung hängt es ab, ob sie mit annähernd gleicher Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Flutgröße in den Fluß eintritt, und ebenso ist die Gestalt der anschließenden Flußstrecke, ein möglichst gerader Lauf, das Fehlen von Stromspaltungen, Querschnittsverengungen und anderen Hindernissen bestimmend für die Länge der von der Flutwelle nach oben durchlaufenen Strecke. Wo Barren vor einer Flußmündung liegen, wird die Flutwelle beim Einlaufen schon geschwächt und nimmt im weiteren Verlauf schnell ab; so erreicht z. B. in der Seine, 40 km von der Mündung bei Caudebec, der Flutwechsel nur noch die Hälfte und 60 km weiter oberhalb nur noch ein Drittel der Größe an der Mündung, während z. B. in der Elbe, auf der 71 km langen Strecke von Kuxhaven bis Brunshausen, keine Abnahme der Flutgröße und 31 km weiter oberhalb erst eine Verringerung um ein Drittel der Höhe eintritt.

Immer aber wird im Flusse die vom Meere her eindringende Flutwelle in ihrer Fortpflanzungsgeschwindigkeit verzögert, verändert und abgeschwächt, bis ihre lebendige Kraft durch die entgegenstehenden Hindernisse und das entgegenkommende Binnenwasser ganz aufgezehrt ist und eine Beeinflussung der Flußwasserstände nicht mehr bemerkbar wird. An dieser Stelle, wo der Flutwechsel aufhört und für den Wasserstand nur noch die Oberwassermenge maßgebend ist, liegt die Flutgrenze; ihre Lage ist nicht unveränderlich, sondern hängt ab von der Stärke der Meerestiden und der Größe der Oberwassermenge. Mit Springtiden und niedrigem Oberwasser rückt sie höher hinauf und liegt umgekehrt bei Nipptiden und hohem Oberwasser weiter stromab.

Die mit der Flutwelle vom Meere eindringenden Wassermassen heben allmählich die Strömung des Oberwassers auf und führen große Wassermengen an der Mündung hinein. Infolgedessen macht sich gleichzeitig mit dem durch die Flutwelle hervorgerufenen Steigen und Fallen auf dem vorderen Abhange der Welle ein Flutstrom und auf dem hinteren ein Ebbestrom bemerkbar. Infolge des Einflusses des Oberwassers erreicht der Flutstrom nicht ganz die Flutgrenze. Auch trifft der Wechsel der Strömungen nicht genau mit Hochwasser bezw. Niedrigwasser zusammen, sondern erleidet eine Verspätung, indem der Flutstrom an einem Orte noch eine Zeitlang andauert, nachdem Hochwasser schon vorüber ist und der Wasserspiegel bereits wieder

fällt, und umgekehrt der Ebbestrom noch nach Niedrigwasser anhält, während das Wasser schon wieder steigt. In Kuxhaven z. B. dauert der Flutstrom noch 1¹/₂ Stunden nach Hochwasser an und etwa ebensolange der Ebbestrom nach Niedrigwasser.

Infolge der Fluterscheinung ändern sich in einer Strommündung sowohl die Gefällverhältnisse als auch die einen bestimmten Querschnitt durchströmenden Wassermengen und die Wassergeschwindigkeit in jedem Augenblick, daher sind hier die sonst geltenden Beziehungen zwischen Querschnitt, Wassermenge und Gefälle nicht mehr anwendbar und müssen im gegebenen Falle durch besondere, auf zahlreiche Pegelaufzeichnungen gestützte Berechnungen ermittelt werden.

Die Erforschung der verwickelten Verhältnisse in einer Strommündung mit starker Ebbe und Flut ist von besonderer Wichtigkeit für die zur Regelung der Strommündungen im Hinblick auf die Vertiefung der Zufahrten zu den Binnenseehäfen vorzunehmenden Arbeiten, auf die hier nur ganz kurz eingegangen werden kann.

Erwähnt sei, daß es bei diesen Arbeiten in erster Linie darauf ankommt, dem Fortschreiten der Flutwelle durch Herstellung eines geraden, trichterförmigen, sich also gleichmäßig verengenden, auch flacher werdenden Laufes möglichst alle Hindernisse aus dem Wege zu räumen, um ihre lebendige Kraft möglichst lange zu erhalten und die Flutgrenze weiter hinaufzurücken. Damit ist gleichzeitig eine Vermehrung der bei Flut einströmenden und bei Niedrigwasser ausgehenden Wassermenge und ihrer Geschwindigkeit verbunden; gerade darin liegt ein wesentlicher Unterschied zwischen den Regelungsarbeiten im Mündungsgebiet eines von Ebbe und Flut beherrschten Stromes und denen im Oberlaufe, daß die Wassermenge nebst Geschwindigkeit und damit das hydraulische Vermögen durch künstliche Maßnahmen bedeutend gesteigert werden kann, während sie oberhalb der Flutgrenze als etwas von der Natur Gegebenes, Unabänderliches betrachtet werden muß.

Für die Untersuchung der Tideverhältnisse eines Ortes sind in den Flußmündungen wie an den Küsten die von selbstzeichnenden Pegeln oder sonst aufgetragenen Flutkurven die beste Unterlage. Sie zeigen in einer Strommündung insofern noch eine Besonderheit, als bei ihnen, je weiter nach oberhalb sie aufgenommen werden, die Flutdauer immer kürzer und die Ebbedauer immer länger wird, wie die durch Abb. 66 wiedergegebenen Flutkurven einiger Orte der Unterweser zeigen. Diese Erscheinung entsteht dadurch, daß bei dem Fortschreiten der Flutwelle der Scheitel sich rascher als der Fußpunkt bewegt, da dieser durch die geringe Wassertiefe mehr und mehr verzögert wird. Der Unterschied nimmt nach oben immer mehr zu, bis an der Flutgrenze sowohl die Flutdauer als auch die Fluthöhe zu Null werden.

Durch die Verzögerung des Fortschreitens des Fußes der Welle infolge plötzlicher Abnahme der Wassertiefe oder stark ansteigender Flußsohle und starken Ebbestroms wird mitunter zwar die Flutdauer, aber nicht die Fluthöhe zu Null, so daß der Scheitel der Flutwelle den Fuß erreicht und in

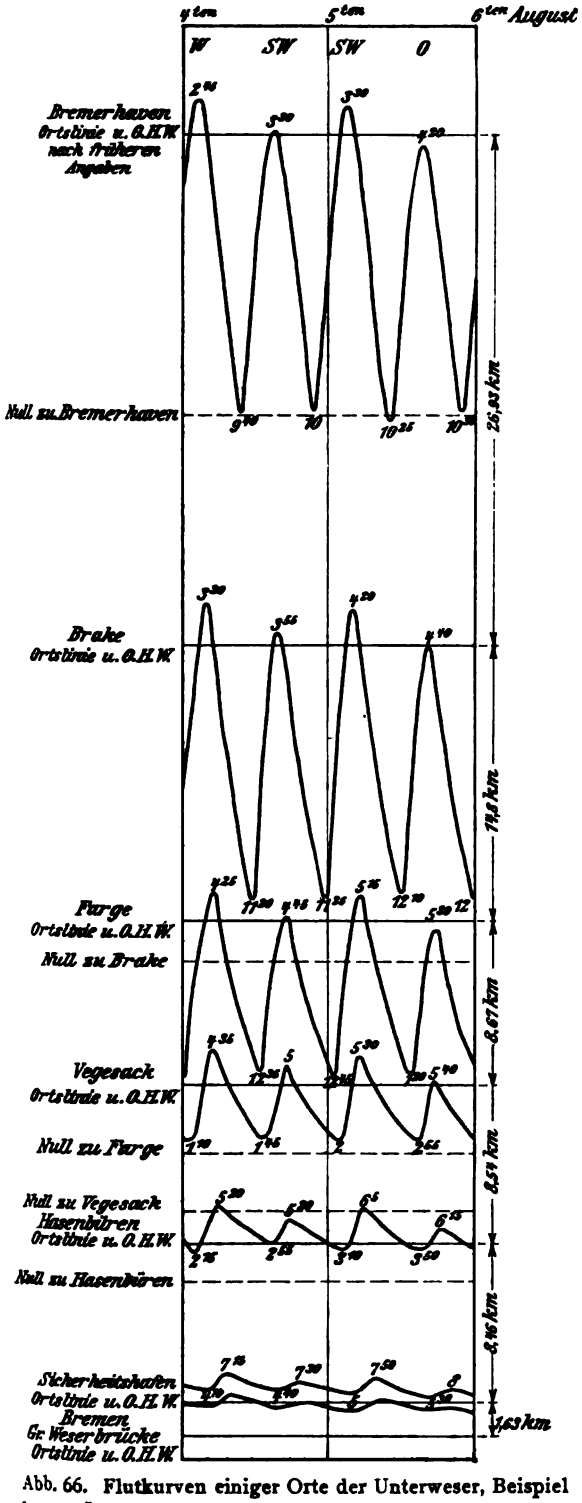


Abb. 66. Flutkurven einiger Orte der Unterweser, Beispiel für die Änderung der Flutkurven in einer Flußmündung.

Gestalt einer Sturzwelle überstürzt. Dieser Fall tritt z. B. in der Seine, der Dordogne, dem Severn, dem Amazonenstrom usw. ein und erzeugt hier die mit Bore oder Mascaret bezeichnete Erscheinung. Bei derselben tritt die Flut in der Weise ein, daß sich plötzlich eine mehrere Meter hohe Welle erhebt (im Severn 2 m, im Amazonenstrom 5 m) und mit großer Gewalt und Geschwindigkeit stromauf (5 bis 15 m/Sek.) eilt. Nach dem Vorbeilaufen der Sturzwelle beruhigt sich der Wasserspiegel wieder, worauf das weitere Ansteigen des Flusses bis zum Hochwasser seinen regelmäßigen Verlauf nimmt.

Durch Beseitigung der Ursache, hauptsächlich durch Vergrößerung der Tiefe auf den betreffenden Stromstrecken kann diese der Schiffahrt sehr gefährliche Erscheinung ganz oder doch teilweise behoben werden.

Verbindet man die Scheitel und Fußpunkte der für eine Stromstrecke erhaltenen Flutkurven durch je eine Linie, so erhält man zwei gedachte, die Flutkurven umhüllende Linien, die für die Beurteilung der Flutverhältnisse einer Strommündung besonders wichtig sind. Die Verbindungslinie der Hochwasserpunkte nennt man die Hochwasserlinie und die der Niedrigwasserpunkte die Niedrigwasserlinie (Abb. 67). Zwischen beiden Linien spielt sich von der Mündung bis zur Flutgrenze das

Steigen und Fallen des Wassers ab. Bei einem gut ausgebauten Strome steigt die Hochwasserlinie von der See aus zunächst etwas an, ist dann auf eine längere Strecke annähernd wagerecht oder wenig seewärts geneigt und steigt dann wieder stärker bis zum Anschluß an den Oberwasserspiegel an. Die Niedrigwasserlinie dagegen zeigt im oberen Teil, vom Oberwasser ausgehend, eine starke Neigung, um mit geringer Neigung oder annähernd wagerecht an das Niedrigwasser des Meeres anzuschließen.

An dem Verlauf beider Linien kann der Zustand des Flußschlauches verfolgt werden. Die Hochwasserlinie wird stets dort, wo eine Verengung eintritt, ansteigen und umgekehrt an einer Erweiterung abfallen; letzteres wird besonders aber dann der Fall sein, wenn der Fluß dauernd zu eng ist und die lebendige Kraft der Flutwelle bald aufzehrt, dann wird ihr Gefälle, wie es häufig bei kleinen Flüssen eintritt, landwärts geneigt sein. In ähnlicher Weise lassen Unregelmäßigkeiten der Niedrigwasserlinie auf zu enge oder zu weite Stellen im Flußbett schließen; das Flußbett wird um so besser geregelt sein, je tiefer die Niedrigwasserlinie abfällt und je gestreckter und wagerechter ihr

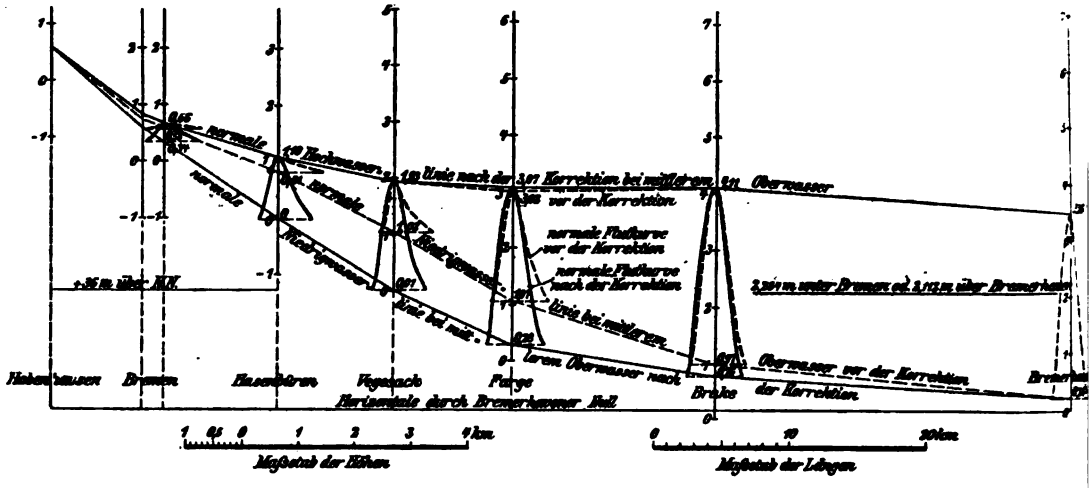


Abb. 67. Darstellung der Hoch- und Niedrigwasserlinien in der Unterweser.

Verlauf ist Durch zweckmäßige Regelungsbauten wird sich sowohl die Hochwasserlinie heben als auch die Niedrigwasserlinie senken, beide werden sich also voneinander entfernen, während gleichzeitig die Flutgrenze hinaufrückt. Man kann daher aussprechen, daß das Eindringen der Flutwelle in eine Strommündung um so günstiger sein wird, je weiter Hoch- und Niedrigwasserlinie voneinander entfernt sind, und je länger dieser Zustand sich auf der Stromstrecke ausdehnt (Abb. 67).

Weiteres über die bei dem Ausbau einer Strommündung anzustellenden Untersuchungen findet man in dem Werke von L. Franzius, Die Korrektion der Unterweser, deren erfolgreiche Durchführung geradezu ein Schulbeispiel für derartige Verhältnisse bildet, dem auch Abb. 66 u. 67 entnommen sind.

2. Wellen.

Entstehung der Wellen. Für die Anordnung und Bemessung der am Meere gelegenen Teile von Hafenbauten ist die Kenntnis der Natur und der Wirkungsweise der Wellen unerläßlich. Im nachfolgenden sollen daher die für den praktischen Gebrauch wichtigen Eigenschaften und Beobachtungen der Wellenbewegung kurz zusammengestellt werden, ohne auf mathematische Untersuchungen näher einzugehen.

Im Ruhezustande zeigt jede Wassermenge, allein unter dem Einfluß der Schwerkraft stehend, eine glatte, spiegelnde Oberfläche. Jede Störung des Gleichgewichtszustandes durch eine auf die Wassermenge an der Oberfläche oder im Inneren ausgeübte Kraft, z. B. durch einen ins Wasser geworfenen Stein, verursacht an der Oberfläche abwechselnde, sich fortpflanzende Hebungen und Senkungen des Wasserspiegels, die Wellen genannt werden. Als Kräfte kommen für die Erregung von Wellen durch Erdbeben ausgeübte Stöße, plötzliche Entnahme oder Hinzufügung von Wassermengen (z. B. bei den Schleusungen) und vor allem der Einfluß des Windes in Betracht.

Die Windwellen sind die bekanntesten und die am häufigsten vorkommenden. Ihre Entstehung durch den Wind ist leicht zu beobachten. Tritt bei Windstille und glatter Meeresoberfläche eine leichte Brise ein, so beobachtet man an den vom Winde getroffenen Flächen leichte Kräuselungen, die aus kleinen Wellen bestehen und sich bei längerer Einwirkung des Windes mehr und mehr vergrößern; ihre Bewegung wird um so stärker, je heftiger und je länger der Wind weht. Die einmal entstandene Bewegung pflanzt sich auf große Entfernungen fort, und so kommt es, daß bisweilen bei ruhigem Wetter starker Seegang, sogenannte „tote See", beobachtet wird, wenn das Meer durch in der Ferne, am Beobachtungsort nicht fühlbare Stürme erregt worden ist.

Als Erklärung der Einwirkung des Windes auf die Wasserfläche kann der durch den Wind ausgeübte Druck, besonders bei stoßweisem Auftreten, die zwischen Luft und Wasser entstehende Reibung und ferner die beim Auftreffen der Luft auf die Wasserfläche entstehende Wirbelbewegung der Luftteilchen angesehen werden; für letztere Wirkung spricht auch das von Helmholtz aufgestellte physikalische Gesetz, nach dem die Berührungsfläche zweier sich mit verschiedener Geschwindigkeit bewegenden Flüssigkeiten Wellenform annimmt.

Wellen werden auch noch lange Zeit nach dem Aufhören des Windes beobachtet, meist zeigen sie dann besonders einfache und klare Formen. Man bezeichnet im allgemeinen die gleichzeitig mit heftigem Winde beobachteten Wellen als Seegang, die See oder auch grobe See und die ohne Vorhandensein des Windes vorkommenden Wellen als Dünung oder Schwellung.

Man unterscheidet an einer Welle (Abb. 68) den über den ruhenden Wasserspiegel sich erhebenden Teil, den Wellenberg, den unter den Wasserspiegel sinkenden, das Wellental, und versteht unter Wellenlänge L den Abstand der höchsten bezw. tiefsten Punkte zweier Wellenberge bezw. -täler und unter Wellenhöhe δ den Höhenunterschied zwischen dem höchsten und tiefsten Punkt oder dem oberen und unteren Scheitel der Welle. Als Fort-

pflanzungsgeschwindigkeit u bezeichnet man den Weg, den ein Wellenberg oder Wellental in der Zeiteinheit zurücklegt, und als Schwingungsdauer T die Zeit, in der ein Wellenberg eine Strecke gleich der Wellenlänge durcheilt.

Beobachtet man auf dem offenen Meere Wellen, so sieht man zunächst, daß die Wellenberge sich in bestimmten, annähernd gleichen Zwischenräumen einander folgen, und hat den Eindruck, als ob mit der Wellenbewegung eine Fortbewegung des Wassers verbunden wäre. Ein in das Wasser geworfener schwimmender Körper zeigt aber, indem er auf- und nieder- sowie hin- und

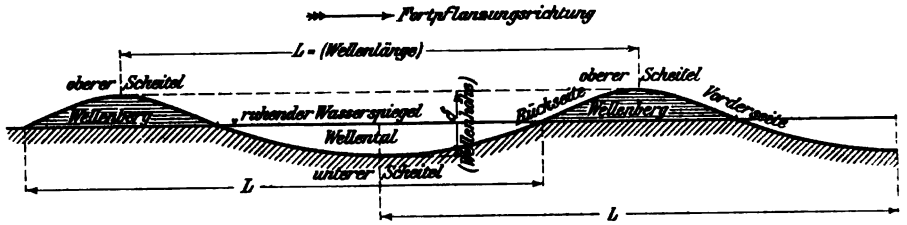


Abb. 68. Bezeichnung der Teile einer Welle.

hergehende Bewegungen macht, im übrigen aber auf seinem Platze verbleibt, daß die Fortbewegung nur eine scheinbare, nicht eine Bewegung der Masse, sondern nur eine solche der Form ist. Man erkennt ferner, daß dabei die Teilchen an der Oberfläche geschlossene Bahnen beschreiben; das gleiche läßt sich an den tieferen Wasserteilchen durch einen langsam untergehenden Körper leicht beobachten.

Aus diesen Beobachtungen erhellt, daß die Wellenbewegung einen Schwingungszustand des Wassers darstellt. Dieser Zusammenhang ist schon frühzeitig erkannt worden, aber erst im vergangenen Jahrhundert durch Gelehrte verschiedener Länder geklärt worden, von denen die Engländer Robertson, Scott Russell, B. Airy,[1]) die Deutschen Gebrüder Weber[2]) und Gotthilf Hagen[3]) und der Österreicher Gerstner[4]) besonders erwähnt werden mögen.

Bei sehr großer Wassertiefe sind die von den Wasserteilchen beschriebenen Bahnen Kreise, deren Durchmesser an der Oberfläche gleich der Wellenhöhe ist und in einem bestimmten Verhältnis zur Wellenlänge steht; die Mittelpunkte befinden sich dabei in Höhe des ruhenden Wasserspiegels.

Unter dieser Annahme erhalten die Wellen die Formen von Zykloiden, und zwar von gemeinen Zykloiden, wenn der Durchmesser des Schwingungskreises ebenso groß, und von gestreckten Cykloiden oder Trochoiden, wenn derselbe kleiner als die Wellenlänge ist, wie es gewöhnlich vorkommt. Diese Kurven werden bei dem Rollen eines Kreises auf einer Geraden beschrieben, und zwar im ersteren Falle durch einen Punkt des Umfangs und im zweiten durch einen Punkt innerhalb des Kreises. Eine deutliche Vorstellung von

[1]) G. B. Airy, Tides and Waves.

[2]) E. H. Weber und W. Weber, Die Wellenlehre auf Experimente gegründet; Leipzig 1823.

[3]) G. Hagen, Seeufer- und Hafen-Bau, Bd. I; Berlin 1878.

[4]) Franz Gerstner, Theorie der Wellen, Prag 1804; auch in Gilberts Annalen, Band 32 und in Webers Wellenlehre wörtlich aufgenommen.

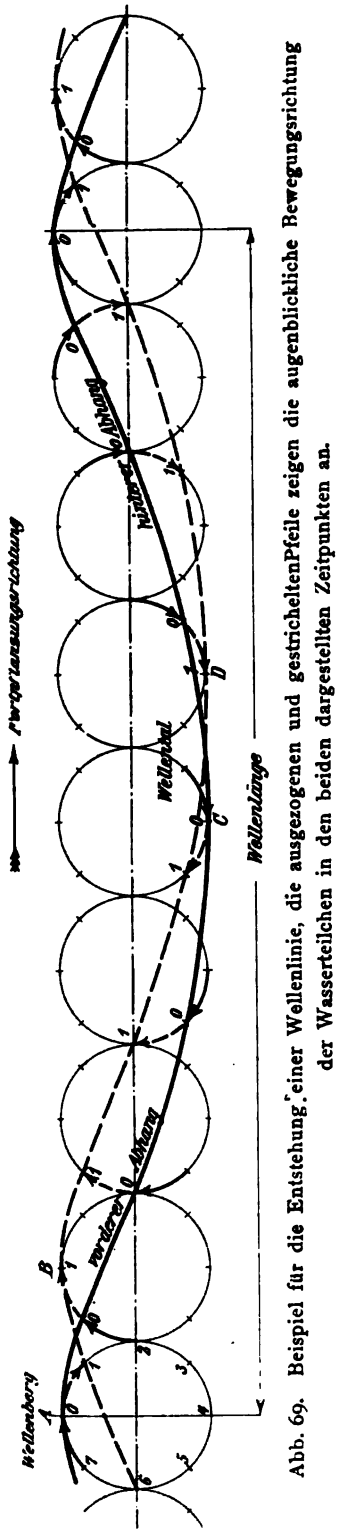


Abb. 69. Beispiel für die Entstehung einer Wellenlinie, die ausgezogenen und gestrichelten Pfeile zeigen die augenblickliche Bewegungsrichtung der Wasserteilchen in den beiden dargestellten Zeitpunkten an.

der Art der Wellenbewegung gibt Abb. 69, auf der eine Wellenlinie dadurch erhalten wurde, daß eine Anzahl nebeneinanderliegender Schwingungskreise in acht gleiche Teile geteilt wurde, und daß der Teilpunkt *O* des Kreises am weitesten links mit dem um ⅞ des Kreisumfanges zurückliegenden Teilpunkt o des rechts benachbarten Kreises usf. verbunden wurde. Die an den Teilpunkten angegebenen ausgezogenen Pfeile deuten die augenblickliche Bewegung der Wasserteilchen an. Verbindet man nun in gleicher Weise, die im Sinne der Pfeile um ⅞ Kreisumfang weiterhin liegenden Teilpunkte 1, so erhält man eine zweite, gestrichelt dargestellte Wellenlinie, bei der jedes Wasserteilchen ⅞ seines Schwingungskreises in der durch die gestrichelten Pfeile angegebenen Richtung durchlaufen hat. Wie die Abbildung zeigt, ist gleichzeitig der Wellenberg von *A* nach *B* und das Wellental von *C* nach *D* um ⅛ der Wellenlänge vorgerückt.

Wiederholt man das Verfahren, so erkennt man klar, wie die Wellen in der Form fortschreiten, während jedes Wasserteilchen in seinem Schwingungskreise verbleibt. Dieser Vorgang wird durch die eingezeichneten Pfeile noch weiter erläutert. Man erkennt ferner an der Abbildung, daß die auf dem hinteren Abhang der Welle befindlichen Teile diesen verlassen und sich nach dem vorderen Abhang zu bewegen; daraus folgt das Einsinken des ersteren und die Erhebung des letzteren und, da dieser Vorgang ohne Unterbrechung sich fortsetzt, das Fortschreiten der Wellenberge. Man kann aus dieser Darstellung ferner entnehmen, daß die Wasserteilchen in der gleichen Zeit ihre Schwingungskreise durchlaufen, in der ein Wellenberg die ½ Wellenlänge durcheilt, und daß sie am oberen Scheitel sich vorwärts in der Fortpflanzungsrichtung der Wellen und am unteren Scheitel sich rückwärts in entgegengesetzter Richtung bewegen.

Nach der Tiefe nimmt die Bewegung der Wasserteilchen ziemlich schnell ab, dabei werden die Durchmesser der Bahnen immer geringer, und zwar nehmen sie, wenn die

Tiefe in arithmetischer Progression zunimmt, in geometrischer Progression ab.

Die einzelnen Wasserteilchen durchlaufen ihre Bahnen alle in gleichem Sinne, d. h. sie sind alle gleichzeitig oben, unten und an den Seiten; nach Abb. 70 stellen dann die Verbindungslinien zusammengehöriger Punkte einen elastischen Faden dar, der bei ruhendem Wasser die Länge o $\mathfrak{R}$ besitzt, sich bald verlängert bis zu o 1 und bald verkürzt bis zu o 5 und sich gleichzeitig abwechselnd nach den Seiten neigt bis zu o 3 und o 7 (Abb. 71).

Denkt man sich ferner einen solchen Wasserfaden, wie Abb. 71 zeigt, abgesehen von der Krümmung, etwas vergrößert, so sieht man, da Hohlräume nicht entstehen können, daß der Faden außer den vorbeschriebenen Bewegungen auch noch während der Verkürzung dicker und während der Verlängerung dünner wird.

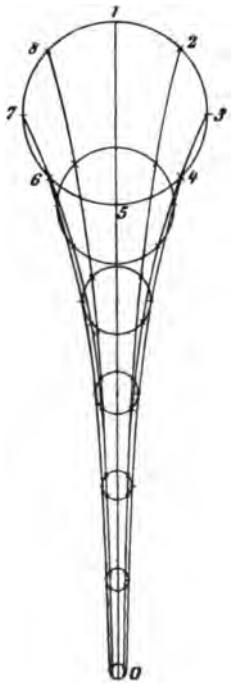


Abb. 70. Abnahme der Wellenbewegung nach der Tiefe, Bewegung eines Wasserfadens.

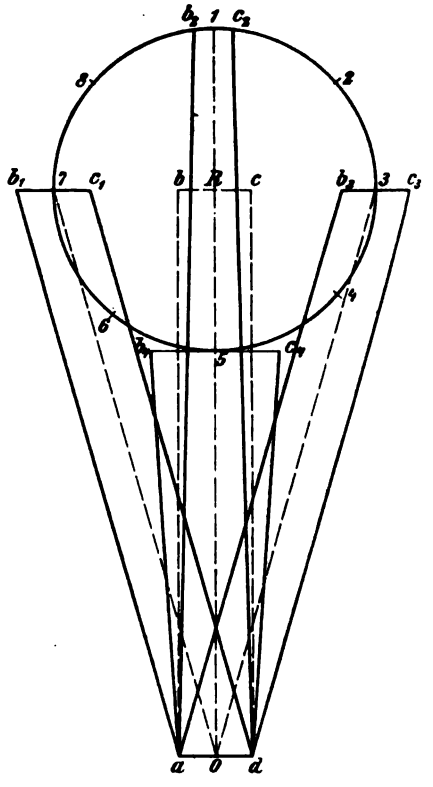


Abb. 71. Bewegung des Wasserfadens, Verlängerung und Verkürzung, Dünner- und Schlankerwerden.

Für Wellen auf unendlicher oder sehr großer Wassertiefe, mithin im offenen Meere, gelten rechnungsmäßig die nachfolgenden Beziehungen unter Verwendung der in Abb. 68 angegebenen Bezeichnungen.[1]) Es ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit

$$u = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}} = 1{,}25\sqrt{L},$$

daraus folgt, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit der Länge der Wellen zunimmt.

Ferner ist die Schwingungsdauer

$$T = \frac{L}{u} = \sqrt{\frac{2\pi L}{g}};$$

[1]) Siehe Tolkmitt-Bubendey, Grundlagen der Wasserbaukunst. Zweite Auflage. Berlin 1907. S. 226.

hieraus kann auch für die Wellenlänge die Beziehung

$$L = \frac{g T^2}{2\pi}$$

abgeleitet werden

Für eine 100 m lange Welle würde demnach

$$u = 12{,}5 \text{ m/Sek.} \quad \text{und} \quad T = 8 \text{ Sekunden}$$

sein.

Bezeichnet man den Halbmesser des Schwingungskreises an der Oberfläche mit r und die Geschwindigkeit, mit der ein Wasserteilchen an der Oberfläche seine Bahn durcheilt, mit σ, so ist

$$\frac{\sigma}{u} = \frac{2\pi r}{L}$$

oder

$$\sigma = \frac{2\pi r \cdot u}{L}.$$

Bezeichnet man ferner den Halbmesser eines Punktes, der um $\eta \cdot \frac{L}{9}$ unter der Oberfläche liegt, mit ϱ, so ist

$$\varrho = \frac{r}{2^{\eta}}.$$

Für im Ozean sehr häufig vorkommende Wellen von 5 m Höhe und 90 m Länge ist danach

in	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90 m Tiefe
$\varrho =$	2,5	1,25	0,625	0,313	0,157	0,079	0,040	0,020	0,010	0,005 m.

Airy hat berechnet, daß in einer Tiefe gleich der Wellenlänge der Halbmesser des Schwingungskreises $\frac{1}{535}$ desjenigen an der Oberfläche und in der doppelten Tiefe $\frac{1}{286\,690}$ davon beträgt.

In Wirklichkeit sind die Verhältnisse der Wellenbewegung nicht so einfach, wie sie vorstehend zur Erweckung richtiger Vorstellungen geschildert wurden. Die Form der Wellen ist nur annähernd eine Trochoide und kommt in dieser Gestalt auch nur selten vor, da verschiedene Einflüsse die Form der Wellen sehr verändern. Zunächst drückt der Wind auf den hinteren Abhang der Welle, infolgedessen wird der vordere steiler als der hintere. Es kommt bei großer Windstärke sogar dazu, daß die vorderen Abhänge im oberen Teil so steil werden, daß sie überstürzen und dann die bekannten Schaumkronen bilden. Dieser Fall tritt ein, wenn die Windgeschwindigkeit die der Wellen übertrifft und dem am leichtesten angreifbaren oberen Teil der Welle eine größere Geschwindigkeit erteilt, als der untere besitzt.

Ferner wird die Wellenform durch Strömungen stark beeinflußt, indem z. B. heftige, den Wellen entgegenwirkende Strömungen die Wellenbildung unter Umständen ganz aufheben, wie es vor der Mündung großer Flüsse beobachtet werden kann.

Doch bestätigen die auf dem Meere ausgeführten Beobachtungen von Wellen im wesentlichen die durch die Rechnung ermittelten Beziehungen, hierbei sind die Werte von L, T und u verhältnismäßig zuverlässig zu be-

stimmen, weniger diejenigen von δ, welche häufig zu hoch angegeben werden. Einige Beobachtungen über Sturmwellen gibt nachstehende Zusammenstellung:

Ort	δ	L	u	$T=\frac{L}{u}$	$\frac{L}{\delta}$
	m	m	m/Sek.	Sek.	
Atlantischer Ozean . . .	6	91	7,2	13	15
„ „ . . .	6,6	100	8,1	12	15
„ „ . . .	8	170	15	11	21
„ „ . . .	6,71	582	45	13	86
„ „ . . .	?	824	35,8	23	?
Indischer Ozean	11,5	240	19,4	12	21
Stiller Ozean, östlich . .	14	230	26	9	16,5

Im allgemeinen erreichen die Wellenhöhen in der Nord- und Ostsee nicht mehr als 4 bis 5 m, am Anfang des Kanals 5 bis 6 m, im Golf von Gascogne 6 bis 7 m und im Mittelländischen Meer 5 bis 6 m. Das Verhältnis $\frac{L}{\delta}$ von Länge zur Höhe liegt meist innerhalb der Grenzen 10 bis 40.

Bei endlicher, gleichbleibender Wassertiefe macht sich die Einwirkung des Grundes auf die Bewegung der Wasserteilchen bis an die Oberfläche fühlbar, indem an Stelle der kreisförmigen Bahnen Ellipsen treten, deren lotrechte Achse nach der Tiefe schnell abnimmt und am Grunde zu Null wird, wie Abb. 72 erkennen läßt. Hierbei bleiben die sich verlängernden und verkürzenden Wasserfäden lotrecht und bewegen sich in ganzer Länge hin und her, indem die horizontalen Bewegungen am Grunde und der Oberfläche fast gleich sind. Nach Angaben von Shield[1]) ist bei Wellen, deren Länge gleich der Wassertiefe ist

	die horizontale	und die vertikale Bewegung
an der Oberfläche	1	1
in der halben Tiefe . . .	0,043	0,043
am Grunde	0,0037	0,000

und bei Wellen, deren Länge zehn mal so groß als die Wassertiefe ist

	die horizontale	und die vertikale Bewegung
an der Oberfläche	1	0,56
in der halben Tiefe . . .	0,87	0,265
am Grunde	0,83	0.000

Bei den in der Praxis vorkommenden Fällen ist dort, wo Bauten errichtet werden sollen, immer die Tiefe H kleiner als die Wellenlänge L, für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit gilt dann annähernd

$$u=\sqrt{g\cdot H}.$$

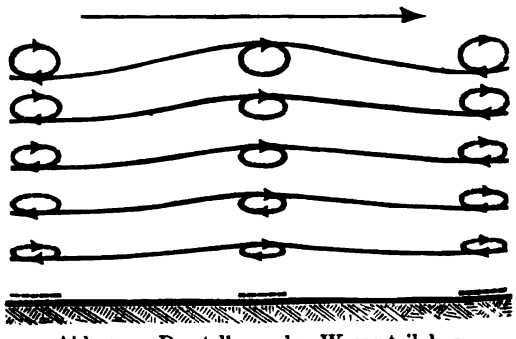


Abb. 72. Darstellung der Wasserteilchenbewegungen bei geringer Wassertiefe.

[1]) Shield, Harbour Construction, S. 28.

Verhalten der Wellen gegen ansteigenden Grund. Wird die Wassertiefe allmählich geringer, so macht sich die Reibung am Grunde mehr und mehr fühlbar. Die Bewegung der Wasserteilchen im unteren Teil wird verzögert, während die oberen Teile weniger beeinflußt werden. Infolgedessen geht die schwingende Bewegung in eine fortschreitende Bewegung über, gleichzeitig wird der vordere Abhang immer steiler (Abb. 73) und die Krone höher, bis der obere Scheitel über den unteren hinauseilt, der Zusammenhang der Wasserteilchen zerreißt und die Welle durch Überstürzen der Krone bricht, etwa da, wo die Wassertiefe gleich der Wellenhöhe oder $H = \delta$ wird. Diese mit lautem Geräusch und starker Schaumbildung verbundene Erscheinung ist die Brandung, durch deren Geräusch der Schiffer auch bei Nacht auf die gefährliche Nähe der Küste aufmerksam gemacht wird; sie tritt um so stärker auf, je stärker der Meeresgrund ansteigt. Nach dem Überstürzen bewegen sich die aus dem Zusammenhang mit der Welle gelösten Wassermassen des oberen Scheitels mit großer Geschwindigkeit gegen das Ufer und laufen den Strand hinauf, bis ihre lebendige Kraft aufgezehrt ist. Alsdann versickert ein Teil in den Poren des Strandes, während die größere Masse mit zunehmender Geschwindigkeit als rücklaufende Welle den Strand hinabläuft, den ankommenden Wellen begegnet, die schon durch den ansteigenden Grund bewirkte Verzögerung der unteren Teile der Wellen verstärkt und das Überstürzen beschleunigt; man kann leicht beobachten, daß die Wirkung des Rückstromes sich auf mehrere der ankommenden Wellen erstreckt.

Abb. 73. Wellenformen bei ansteigendem Grunde.

Hiermit steht auch die an der Ostseeküste beobachtete Entstehung von Sandriffen in Zusammenhang, die bei heftigem Sturm dort entstehen, wo die Wellen aus der See mit rücklaufenden Wellen oder dem Rückstrom zusammentreffen und durch die dabei eintretende Vernichtung der lebendigen Kraft Ablagerungen des mitgeführten Sandes verursachen. Von den Riffen ist das dem Ufer am nächsten belegene am höchsten, die folgenden sind niedriger und mit zunehmender Tiefe kaum noch zu erkennen. Für gewöhnlich beobachtet man drei mit der Küste gleichlaufende Riffe; ihre Anzahl und Lage ändert sich jedoch nach jedem heftigen Seegange.

An manchen Küsten, wo der Verkehr von den auf offener See ankernden Schiffen nach dem Lande durch sogenannte Brandungsboote erfolgt, werden die nach der Brandung auf das Ufer stürzenden Wassermassen benutzt, um die Boote möglichst hoch auf das Land zu führen.

Ferner ist das Verhältnis zwischen Auf- und Rückstrom je nach der Heftigkeit des Seeganges verschieden, indem bei mäßiger Wellenbewegung der Aufstrom, bei schwerer See dagegen der Rückstrom vorherrscht, womit eine Erhöhung bezw. Erniedrigung des Strandes verbunden ist.

Mit dem Anlaufen der Wellen gegen eine sanft ansteigende Küste ist infolge der Reibung am Grunde eine Verminderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit verbunden, während die Schwingungsdauer, d. h. die Zeit, in

der eine Strecke gleich der Wellenlänge durchlaufen wird, unverändert bleibt; aus diesem Grunde wird die Länge der Wellen geringer, gleichzeitig erhebt sich aber der Scheitel, bis die oben geschilderten Umstände das Brechen herbeiführen.

Eine Brandung tritt auch bei größeren Tiefen auf, wenn der Untergrund plötzlich ansteigt oder Riffe eingelagert sind, der untere Teil der Wellen stößt dann gegen den vorspringenden Grund und vernichtet bei annähernd lotrechter Begrenzung seine Kraft oder lenkt sie bei geneigter Gestalt nach oben ab (Abb. 74), wodurch eine Erhebung und Brechen des oberen Wellenteiles erfolgt. Aus diesem Grunde brechen auf der Rig-Bank an der südafrikanischen Küste Wellen von 3 bis 3,6 m Höhe bei 11 bis 18 m Tiefe, bei St. Jean de Lug Wellen von 2 m Höhe an den Felsen von Artha bei 6,5 m Tiefe unter Niedrigwasser bei der Bank von Neufundland in Nordamerika große Sturmwellen bei 150 m Tiefe usf. Dabei greift die Bewegung bis auf den Grund hinab, wie an dem trüben Wasser zu erkennen ist.

Nach dem Passieren eines solchen Hindernisses haben die Wellen ein geringeres Volumen und daher auch geringere Höhe, wiederholt sich der Vorgang an einer Reihe hintereinander liegender Bänke, so entsteht dadurch ein gewisser Schutz, wie er z. B. auf den offenen Reeden von Dünkirchen, Ostende (Abb. 13) usw. vorhanden ist.

Die Größe, Geschwindigkeit und Kraft der nach dem Brechen gegen den Strand oder gegen ein Bauwerk fortschreitenden Wassermasse wächst mit der Länge und Höhe der Wellen.

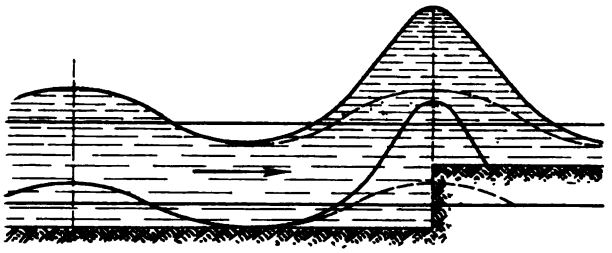


Abb. 74. Anlauf der Wellen gegen plötzlich ansteigenden untergetauchten Grund.

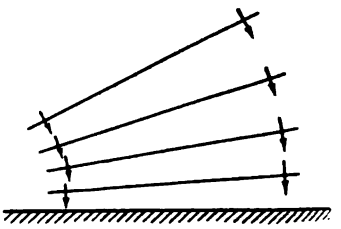


Abb. 75. Schräg gegen eine Küste anlaufende Wellen.

Richtung der Wellen. Im allgemeinen stimmt die Fortpflanzungsrichtung der Wellen mit derjenigen des Windes überein, dabei werden die Wellen um so größer, je länger der Wind in einer und derselben Richtung weht. Bei der Annäherung an eine sanft ansteigende Küste wird der zunächst der Küste befindliche Teil der Wellen durch die geringere Tiefe verzögert, während die noch auf tieferem Wasser befindlichen Teile mit der ursprünglichen Geschwindigkeit fortschreiten, infolgedessen tritt bei schräg zur Küste gerichteten Wellen allmählich eine Schwenkung ein (Abb. 75), so daß die Wellen am Ufer fast immer annähernd gleichlaufend mit der Küstenlinie eintreffen. Der gleiche Umstand bewirkt bei Inseln, daß alle Seiten derselben vom Wellenschlage getroffen werden und selbst auf der vom Winde abgelegenen

Seite Wellen anlaufen, die dem Winde entgegengesetzt gerichtet sind (Abb. 76). Auf diese Weise erklärt sich auch, daß die Wellen bisweilen um Molenköpfe herumschwenken und in den Hafen eintreten (Abb. 77).

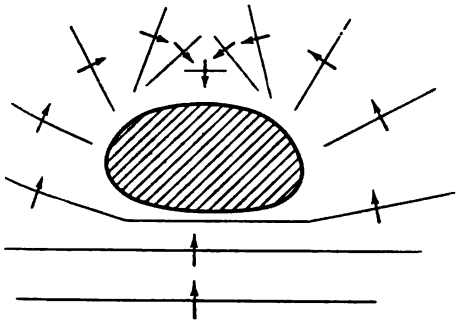


Abb. 76. Herumschwenken der Wellen um eine Insel.

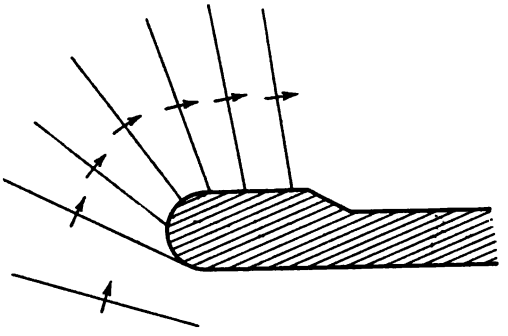


Abb. 77. Herumschwenken der Wellen um einen Molenkopf.

Treffen die Wellen nicht senkrecht auf den Strand, sondern etwas schräg gerichtet, so entsteht am Ufer auch eine seitliche Fortbewegung des Wassers und aufgewühlter Sandkörner, indem die auflaufenden Wellen ihre Richtung beibehalten, die zurückströmenden aber dem Gefälle des Strandes folgen (Abb. 78); von dem Wasser bei dieser Bewegung mitgeführte Körper werden bei diesem Vorgang seitlich verschoben.

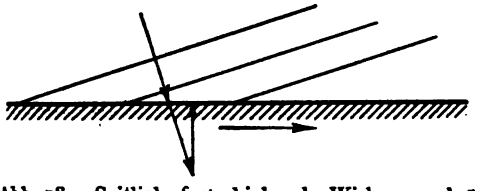


Abb. 78. Seitlich fortschiebende Wirkung schräg den Strand treffender Wellen.

Trifft eine Welle senkrecht gegen eine aus großer Tiefe sich steil erhebende Wand, so hört die seitliche Bewegung der Wasserfäden plötzlich auf, sie können sich daher nur noch verlängern oder verkürzen; dabei wird kein Stoß in wagerechter Richtung auf die Wand ausgeübt. Die Welle wird zurückgeworfen, ohne zu branden. Eine Erhöhung der Wellen auf das Doppelte tritt vor der Wand ein, wenn gerade ein Wellenberg auf die Wand trifft (Abb. 79), die größte Vertiefung dagegen dann, wenn das gleiche mit einem Wellental der Fall ist (Abb. 79).

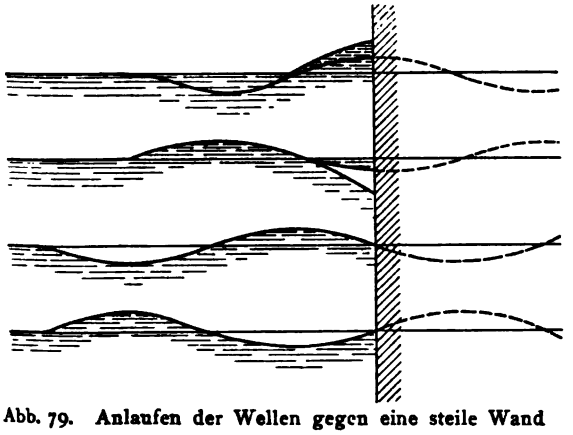


Abb. 79. Anlaufen der Wellen gegen eine steile Wand bei großer Wassertiefe.

Die ganze Erscheinung spielt sich ab, wie wenn die anlaufende Welle eine solche Gegenwirkung erfährt, als ob ihr eine Welle von gleicher Form und Geschwindigkeit entgegenläuft und sie von dieser durch-

drungen wird. Da die Wasserfäden dicht vor der Wand am Grunde in Ruhe verharren, so findet auch kein Angriff auf den Boden statt. Beobachtungen haben gezeigt, daß vor solchen Steilküsten befindliche Schiffe nicht gegen den Felsen geworfen, sondern nur auf und nieder bewegt werden.

Ist dagegen die Wassertiefe vor einer steilen Wand gering, so findet naturgemäß, wenn die Wellenhöhe ungefähr der Tiefe entspricht, wieder eine Brandung statt, bei der die aus dem Zusammenhang gelösten Wassermassen einen gewaltigen Stoß gegen die Wand ausüben und viele Meter senkrecht in die Höhe geschleudert werden. Das mit zunehmender Geschwindigkeit herabstürzende Wasser greift dann den Boden am Fuß der Wand oder, wenn es auf die Oberseite der Wand oder Mauer fällt, diese stark an. (Abb. 80).

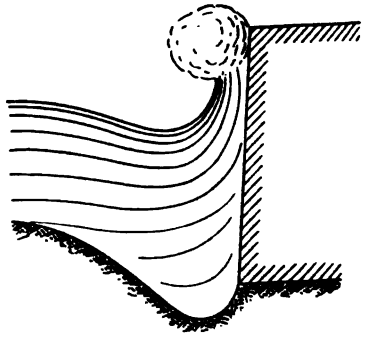


Abb. 80. Anlaufen der Wellen gegen eine steile Wand bei geringer Wassertiefe.

In solchen Fällen muß daher der Grund in nicht zu geringer Breite stark geschützt werden, da die größte Tiefe in einiger Entfernung vor der Wand beobachtet wird.

Die gleiche Wirkung wie vor steilen Wänden zeigt sich noch bei einer Neigung selbst bis zu 45°.

Das Emporschleudern gewaltiger Wassermassen vor steilen Wänden ist bis zu bedeutenden Höhen beobachtet worden, so z. B. am Molenkopf bei Cette bis 25 m, am Wellenbrecher von Cherbourg bis 36 m und am Leuchtturm auf dem Eddystone bis 50 m; an den steilen Felsküsten Norwegens sollen noch größere Wirkungen festgestellt worden sein.

Wird eine steile Wand unter einem Winkel getroffen, so werden die Wellen unter demselben Winkel zurückgeworfen und durchdringen die ankommenden Wellen, ohne sie in ihrer Fortbewegung zu stören. Dabei treten, wie auch sonst, wenn Wellen aus verschiedenen Richtungen durcheinanderlaufen, die bekannten Interferenzerscheinungen ein, indem zusammentreffende Wellenberge sich erhöhen, oft bis zu dem 1,8fachen der ursprünglichen Höhe, und sich begegnende Wellenberge und Wellentäler sich gegenseitig aufheben. An solchen Stellen entsteht eine besonders unruhige, der Schiffahrt gefährliche, sogenannte kabbelige See.

Bei mehrfacher Durchdringung können einzelne Wellenberge schließlich so hoch werden, daß die Wassermasse ihren Zusammenhang nicht mehr bewahrt und als Sturzsee oder Brecher in der Richtung des Sturmes zusammenbricht.

Derartige Durchdringungen mehrerer Wellensysteme kommen ferner vor, wenn der Wind seine Richtung plötzlich ändert und nun ein neues, anders gerichtetes Wellensystem erzeugt. Besonders stark ist dies in dem Zentrum eines Sturmfeldes der Fall, in dem die aus allen Richtungen kommenden Wellensysteme zusammentreffen und ein regelloses Durcheinander erzeugen, in dem die größten Schiffe zum Spielball der Wellen werden. In großen Meeren sind fast stets mehrere in verschiedenen Richtungen durcheinander-

laufende Wellensysteme vorhanden, wie die unregelmäßigen Erhebungen einzelner Wassermassen erkennen lassen.

In manchen Hafenbecken entsteht bisweilen an Stellen, wo sonst ruhiges Wasser sein sollte, eine kleinen Schiffen unbequeme Kabbelung; bei näherer Untersuchung findet man, daß die Ursache dieser Erscheinung in der Durchdringung verschiedener von der Innenseite der Molen oder Ufereinfassungen zurückgeworfener Wellensysteme zu suchen ist. Nach den in manchen Häfen, wie Pillau, Cherbourg, Dover, Neapel u. a., in dieser Hinsicht gemachten Erfahrungen muß daher bei der Anlage von Molen und Hafenbecken auf diese Eigenschaft der Wellen Rücksicht genommen werden (vergl. Kap. 8).

Verhalten der Wellen beim Einlaufen in Buchten. In offenen Buchten mit sanft ansteigendem Grunde (Abb 81) dehnen sich die Wellen aus und nehmen durch allmähliche Schwenkung die Form der Küstenlinie an, in dem an den Rändern eine Verzögerung der Fortbewegung eintritt, während in der Mitte die ursprüngliche Geschwindigkeit länger erhalten bleibt.

Verengt eine Bucht sich dagegen trichterförmig, so erhöhen sich die einlaufenden Wellen, je mehr sie vordringen, wobei gleichzeitig ihre Länge

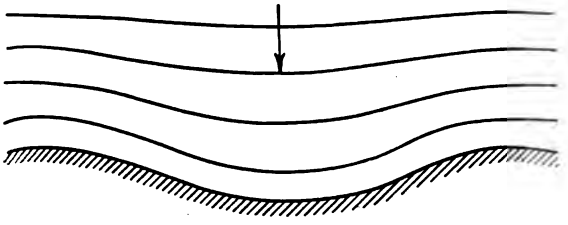


Abb. 81. Einlaufen der Wellen in eine flache Bucht.

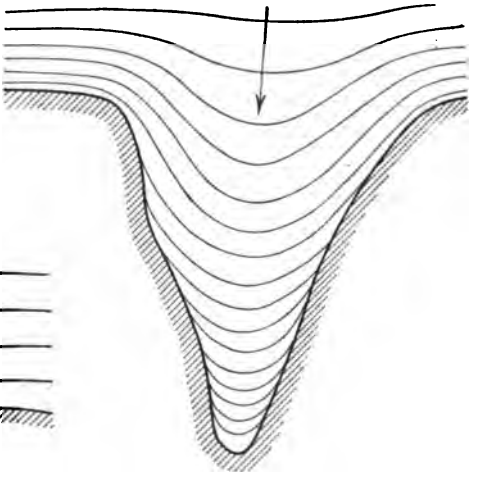


Abb. 82. Einlauf der Wellen in eine sichverengende Bucht.

geringer wird (Abb. 82); durch die von den einlaufenden Wellen in die Bucht gebrachte lebendige Kraft braucht nur eine immer kleiner werdende Wassermasse in Bewegung versetzt werden. Hierfür liefern der Busen von Wick in Schottland und derjenige von Genua klare Beispiele. Umgekehrt werden bei einer sich hinter einer engen Öffnung stark erweiternden Bucht die Wellen flacher und länger, weil die eingedrungene lebendige Kraft sich an der immer größer werdenden zu bewegenden Wassermasse allmählich verzehrt. Von dieser Tatsache wird vielfach bei der Anlage von Molen zur Umschließung von Hafenflächen Gebrauch gemacht, wie es z. B. in Ymuiden, in Dover, in Cherbourg usw. geschehen ist. Nach einer von dem verstorbenen Thomas Stevenson auf Grund zahlreicher Beobachtungen aufgestellten Formel kann die am Ende einer durch Molen umschlossenen Wasserfläche mit annähernd gleichbleibender Wassertiefe und mit enger Einfahrt zu erwartende Wellenhöhe schätzungsweise berechnet werden. Bezeichnet man mit

δ die Höhe der Wellen an der Einfahrt in m,

b die Breite der Einfahrt in m,

B die Breite der Wasserfläche an der Beobachtungsstelle in m,
D die Entfernung der Beobachtungsstelle von der Einfahrt in m,
x die verminderte Wellenhöhe an der Hafeneinfahrt in m,

so ist:
$$x = \delta \frac{\sqrt{b}}{\sqrt{B}} - 1{,}35 \cdot \frac{\left(\delta + \delta \frac{\sqrt{b}}{\sqrt{B}}\right) \sqrt[4]{D}}{50}.$$

Für Ymuiden würde z. B. nach den in Abb. 83 angegebenen Abmessungen für am Hafenmund 4 m hohe Wellen am Ufer die Wellenhöhe nur noch betragen

$$x = 4 \cdot \frac{\sqrt{250}}{\sqrt{1180}} - 1{,}35 \cdot \frac{\left(4 + 4 \frac{\sqrt{250}}{\sqrt{1180}}\right) \sqrt[4]{1200}}{50}$$
$$x = 0{,}91 \text{ m}.$$

Hierbei ist jedoch Voraussetzung, daß in der von den Molen umschlossenen Fläche annähernd gleiche Wassertiefe herrscht.

Höhe der Wellen. Über die in verschiedenen Meeren beobachteten Wellenhöhen sind schon auf S. 142 einige Angaben gemacht worden.

Die Höhe der an einem Küstenpunkte zu erwartenden Wellen hängt von der Entfernung dieses Punktes von der nächsten gegenüberliegenden Küste in der Richtung, in der die heftigsten Stürme wehen, und von der Wassertiefe vor der Küste ab. Daraus folgt, daß die größten Wellen an einem Orte aus der Richtung entstehen, aus der anhaltende und heftige Stürme über die größte davorliegende Meeresfläche wehen und wo große Wassertiefen bis an die Küste herantreten. Damit stimmt z. B. überein, daß an dem von den ausgedehntesten Wasserflächen umgebenen Kap der guten Hoffnung besonders große Wellen von 15 bis 18 m Höhe beobachtet wurden. Man bezeichnet die Länge der der Einwirkung des Windes ausgesetzten Wasserfläche mit der Streichlänge und kann daraus mit Hilfe der nachstehenden, wiederum von Stevenson angegebenen Formeln die zu erwartende größte höhe schätzen. Bei starkem Winde und tiefem Wasser wird die Beziehung

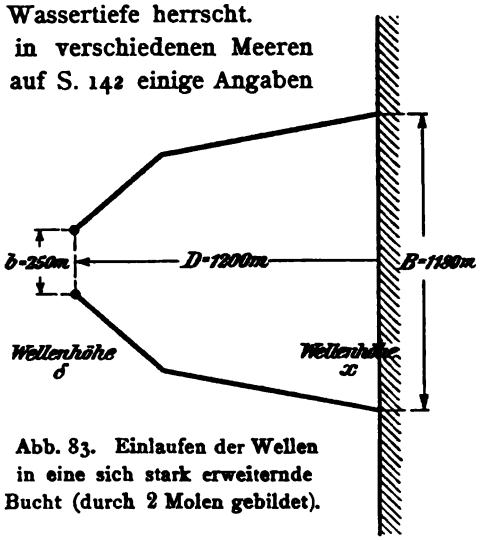


Abb. 83. Einlaufen der Wellen in eine sich stark erweiternde Bucht (durch 2 Molen gebildet).

$$\delta = 0{,}45 \sqrt{f}$$

benutzt, worin δ die Wellenhöhe in m und f die Streichlänge in Seemeilen (1852 m) bedeutet.

Beispielsweise ergeben sich für verschiedene Streichlängen nachstehende Wellenhöhen:

$f =$	2	5	10	20	50	100	200 Seemeilen
$\delta =$	0,63	1,01	1,42	2,01	3.18	4,5	6,4 m.

Für kurze Streichlängen und heftige Winde wird die Gleichung

$$\delta = 0{,}45\sqrt{f} + (0{,}75 - 0{,}3\sqrt[4]{f})$$

bevorzugt,[1]) sie ergibt etwas größere Werte; so ist z. B. für

$f =$	2	5	10	20 Seemeilen
$\delta =$	0,84	1,31	1,74	2,12 m.

Nimmt man für die größten vorkommenden Wellen 13,5 m als Höhe an, so entspricht diesen eine Streichlänge von 900 Seemeilen, wie sie selbst bei Ozeanstürmen kaum vorkommen wird, da diese auf eine so lange Strecke selten geradlinig in einer Richtung wehen, sondern schon Drehbewegungen ausführen.

Während der Theorie nach in tiefem Wasser die Wellenhöhe durch den ruhigen Wasserspiegel in gleiche Teile zerlegt wird, ergibt sich für flacheres Wasser aus zahlreichen von Gaillard angestellten Beobachtungen, daß die Wellenberge sich höher über den ruhenden Wasserspiegel erheben, als die Wellentäler darunter sinken, und zwar ist, wenn mit a die Höhe der Wellenberge über dem ruhenden Wasser bezeichnet wird:

$$a = 0{,}67\,\delta \text{ bis } 0{,}89\,\delta,$$

wobei die kleineren Werte für die größeren Tiefen ermittelt wurden.

Von dieser Beobachtung wird bei der Festsetzung der Höhe von Hafendämmen und Ufermauern Gebrauch zu machen sein, um zu verhüten, daß mit diesen Bauwerken gleichgerichtete Wellen überlaufen.

Gewalt der Wellen, Wellenstoßmesser. Wie die wirkliche Natur der Wellenbewegung in vielen Punkten bisher einer genauen Kenntnis nicht zugänglich gewesen ist, so haben sich „die Gewalt der Wellen und die wesentlich dynamischen Wirkungen, die sie auf die äußeren Molen ausüben, bisher allen Messungen entzogen.

Die Zerstörung von Anlagen am Meere müssen den wiederholten dynamischen Wirkungen zugeschrieben werden, die ebenfalls bis heute nicht festgelegt werden konnten.

Beim Entwurf neuer Anlagen am Meere wird der Ingenieur die wertvollsten Anhaltspunkte in der Prüfung bestehender Anlagen finden, wobei er vergleichsweise das Verhalten und die Stärke der Wellen auf hoher See, die Bildung des Ufers und des Grundes in der Nähe des Hafens in Betracht ziehen muß, ebenso aber auch jeden anderen Umstand, der ihm nützliche Schätzungsgrundlagen liefern kann.“[2])

Aus den vorstehenden Sätzen geht hervor, daß über die Gewalt der Wellen noch wenig Klarheit besteht, und daß weitere Untersuchungen und Messungen auf diesem Gebiet in hohem Grade wünschenswert sind.

Man hat bisher nur an wenigen Stellen Versuche zur Messung der Gewalt der Wellen gemacht, an anderen Orten ist versucht worden, aus einigen durch

---

[1]) Engineering News vom 23. Februar 1905, S. 189; Major D. D. Gaillard, Wave action in Relation to Engineering Structures, im Auszuge Zentralblatt der Bauverwaltung 1905, S. 358 und 362; doch sind daselbst bei der Umrechnung der Formeln 5 und 7 von Fuß in Meter Versehen untergelaufen.

[2]) Resolution des X. Internationalen Schiffahrts-Kongresses in Mailand über die Frage: Bauart der äußeren Molen von Häfen mit Rücksicht auf die Gewalt der Wellen, denen sie zu widerstehen haben. Schätzung dieser Kraft.

die Wellen ausgeübten Zerstörungen auf die Größe der Kraft zu schließen; beide Verfahren können wenigstens einen ungefähren Begriff von der Größe der Wellenkraft geben, unter Umständen die Anstellung überschläglicher statischer Berechnungen ermöglichen und vor groben Unterschätzungen der Wellenwirkungen schützen.

Zur Berechnung des Wellenstoßes kann unter der Annahme, daß die Wirkung der Wellen wie die einer gegen ein Hindernis geschleuderten Wassermasse aufgefaßt wird, und unter Vernachlässigung der Wirkung der inneren Bewegung der Wasserteilchen, wegen der Ähnlichkeit dieser Wirkung mit dem Druck einer strömenden Flüssigkeit gegen eine untergetauchte Platte, die Beziehung

$$P = f \cdot \gamma \cdot A \cdot \frac{u^2}{2g}$$

benutzt werden, worin bedeutet

P den Stoß senkrecht zur getroffenen Fläche in kg,
γ das Gewicht von 1 cbm Wasser in kg (bei Seewasser 1024),
A die getroffene Oberfläche in qm,
$g = 9{,}81$ m/Sek.,
u die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen in m/Sek. und
f ein durch Versuche zu bestimmender Wert ist, der nach zahlreichen Beobachtungen von Gaillard im Mittel zu 1,31 und höchstens zu 2,0 anzunehmen ist; andere für den gleichen Wert gemachte Angaben schwanken zwischen 1,25 und 1,85.

Für brechende Wellen ist nach Gaillard ferner die Geschwindigkeit u zu ersetzen durch $\frac{4}{3}u$, um die Vermehrung der Fortbewegung, die der Wellenscheitel beim Brechen erfährt, zu berücksichtigen.

Setzt man in der erstgenannten Gleichung für f 1,31, für γ unter Annahme von Salzwasser 1,024 t/cbm, für A 1 qm, so erhält man für den Wellenstoß

$$P = \sim 0{,}068\, u^2$$

und für Fortpflanzungsgeschwindigkeiten, wie sie nach der Zusammenstellung auf S. 142 mehrfach beobachtet sind, von

$u =$	10	15	20	25	m/Sek.
$P =$	6,8	15,3	27,2	42,5	t/qm,

Werte, die sich den an anderen Orten und auf andere Weise ermittelten nähern.

Zur unmittelbaren Messung des Wellenstoßes bediente sich schon Thomas Stevenson einer einfachen Vorrichtung, die an der Beobachtungsstelle an den Felsen oder eine Mauer usw. angeschraubt wurde. Die Vorrichtung (Abb. 84) bestand aus einer dem Meere zugekehrten, kreisförmigen Scheibe, die von vier an ihrer Hinterseite befestigten Stangen gehalten wird Diese Stangen gehen durch die Ober- und Unterseite eines an den Felsen angeschraubten Zylinders hindurch. Etwa in der Mitte des Zylinders sind sie durch eine lose in dem Zylinder steckende Scheibe miteinander und von dieser Scheibe ab mit dem Deckel des Zylinders durch starke Federn verbunden. Trifft ein Wellenstoß die äußere Scheibe, so wird sie gegen den Zylinder zurückgedrückt,

wobei die vier Stangen aus der Hinterwand des Zylinders heraustreten und sich die vier Federn spannen. Gleichzeitig werden lederne Ringe, die sich auf den Stangen anfänglich am Boden des Zylinders befinden, nach vorn verschoben, so daß sie nach dem Zurückweichen der Scheibe, wenn die Federn diese wieder in die Ruhestellung vorschieben, sich in einer gewissen Entfernung von dem Boden des Zylinders befinden. Diese Strecke bildet ein Maß für die Ausdehnung der Federn und ermöglicht die Bestimmung der Stärke des Wellenstoßes, indem man die Vorrichtung vor dem Gebrauch durch Belastung entsprechend eicht.

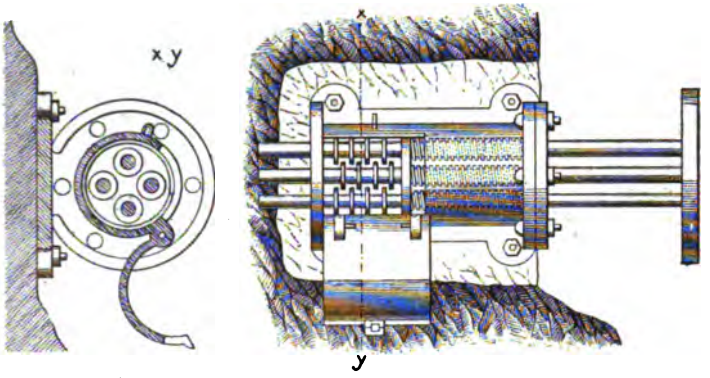


Abb. 84. Wellenstoßmesser nach Thomas Stevenson.

Mit diesem Seekraftmesser hat Stevenson im Atlantischen Ozean an der West- und Nordküste von Schottland Stoßkräfte von 33 bis 39 t/qm ermittelt; an der Ostseite, in der Nordsee, fand er nur etwa halb so hohe Werte.

Es liegt auf der Hand, daß die beschriebene Vorrichtung noch bezüglich der Aufzeichnungen der eingetretenen Stoßwirkungen verbesserungsfähig ist, wie dies auch von W. H. Bailey in Manchester erkannt und an einem für die japanische Regierung angefertigten Apparat beachtet wurde.[1])

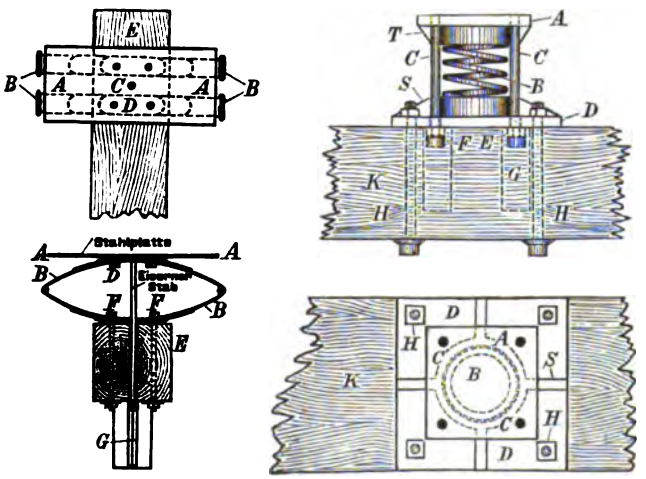


Abb. 85. Wellenkraftmesser von Gaillard unter Benutzung von Federn.

Nach dem gleichen Grundgedanken hat auch Gaillard für seine Untersuchungen[2]) zwei Kraftmesser hergestellt, von denen der eine, durch Abb. 85 wiedergegebene, eine andere Anordnung der Federn zeigt. Bei demselben besteht die Aufnahmeplatte aus einem 6 mm starken Stahlblech *A A* von 20 cm Länge und 45 cm Breite, das von zwei starken Wagenfedern *B B* ge-

[1]) Bericht von Bailey zum Internationalen Schiffahrtskongreß in Brüssel 1898.

[2]) Vergl. die Fußnote auf S. 149.

tragen wird. An der Platte ist ein durch den die ganze Vorrichtung stützenden Balken hindurchreichender Stab befestigt, dessen Ende mit Hilfe eines Stiftes in einer mit Paraffin gefüllten Rinne *G* die größte durch den Wellenstoß bewirkte Zusammendrückung bezeichnet, deren Umrechnung nach einer vorherigen Probebelastung unmittelbar die Größe des Wellenstoßes ergibt. Gaillard benutzte zwei derartige Apparate bei North Beach an der Halbinsel Florida zur Messung der Stärke von Ozeanwellen von 0,6 bis 3,3 m Höhe. Bei der anderen dargestellten Form wird eine Spiralfeder verwendet und die Platte durch vier Bolzen gestützt; die Aufzeichnung der Zusammendrückung erfolgt in gleicher Weise.

Ein weiterer, ebenfalls von Gaillard erfundener Wellenkraftmesser (Abb. 86) besteht aus einem kurzen, an der Unterseite geschlossenen und an der Oberseite durch eine 6 mm starke Gummischeibe zugedeckten Gußeisenzylinder *A* von rd. 900 qcm Fläche, der durch ein 18 mm weites Rohr mit einem Wasserbehälter *T* in Verbindung steht; an diese Leitung schließt ferner durch ein 12 mm weites Rohr ein Manometer *G* Bourdonscher Form, das behufs Verhütung zu heftiger Schwingungen mit Glyzerin gefüllt ist. Durch Öffnen des Hahnes *C* werden die Rohre und der Zylinder mit Wasser gefüllt, wobei die Luft durch eine Stiftschraube *S* entweichen kann. Nach erfolgter Füllung wird Hahn *C* geschlossen und Hahn *B* geöffnet und nun jeder auf die Gummischeibe ausgeübte Druck unmittelbar durch das Manometer angezeigt.

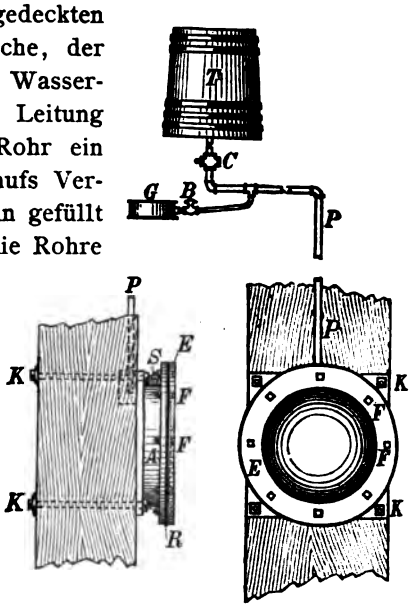


Abb. 86. Wellenkraftmesser von Gaillard unter Benutzung einer durch eine Membran abgeschlossenen Flüssigkeit und eines Manometers.

Durch häufigere Anwendung derartiger Vorrichtungen und gleichzeitige Beobachtung der Kraft und Richtung des Windes sowie der Geschwindigkeit, Länge und Höhe der Wellen wird für die weitere Erforschung der Kraft und Wirkung der Wellen wertvolles Material zu gewinnen sein, um die äußeren Werke der Häfen den Einwirkungen, denen sie zu widerstehen haben, anzupassen.

Zu beachten bleibt allerdings, daß die Ergebnisse der Messungen mit derartigen Kraftmessern auch nicht ganz einwandfrei sind, da die Richtung, aus der der Stoß kommt, nicht berücksichtigt wird und in Anbetracht der verhältnismäßig kleinen Aufnahmeflächen der Meßvorrichtungen Vorsicht bei der Verwertung der Ergebnisse geboten erscheint; aber im allgemeinen haben sich die damit angestellten Beobachtungen als zutreffend erwiesen.

Indem sowohl Stevenson als auch Gaillard an einer von Wellen getroffenen Mauer mehrere Kraftmesser in verschiedenen Höhen anbrachten, stellten sie die Tatsache fest, daß der Wellenstoß in Höhe des ruhenden Wasserspiegels am stärksten ist und darüber und darunter stark abnimmt;

nach den von Gaillard gegebenen Aufzeichnungen scheint der Größtwert noch etwas höher zu liegen.

Nach diesen Feststellungen erfahren Wellenbrecher in Höhe der Hochwasserlinien die stärksten Angriffe; sie müssen daher an diesen Stellen am widerstandsfähigsten ausgebildet und mit den größten und schwersten Blöcken versehen werden. Dagegen können in größeren Tiefen kleinere Blöcke zur Anwendung gelangen; nach den bei Cherbourg, in Algier und an anderen Orten gemachten Erfahrungen werden Steinschüttungen in 7 bis 9 m im allgemeinen nicht mehr bewegt; dagegen ist die Bewegung von Sand auch in größeren Tiefen als 20 m noch festgestellt worden.

Aus den bisherigen Beobachtungen geht hervor, daß am offenen Meere mit einer Gewalt der Wellen von etwa 30 bis 35 t/qm zu rechnen ist, während in kleineren Meeren Werte von 15 bis 20 t/qm, gleichmäßig verteilt angenommen, ausreichen dürften.

Es hat sich ferner herausgestellt, daß brechende Wellen einen stärkeren Stoß ausüben als schwingende, daraus folgt die vorteilhafte Anordnung steiler Wellenbrecher in großen Tiefen.

Ferner haben Stevenson und Gaillard festgestellt, daß der nach oben gerichtete Stoß oft vielmals größer ist als der wagerechte an der gleichen Stelle; aus diesem Grunde empfiehlt sich die Vermeidung aller Vorsprünge an den dem Wellenstoß ausgesetzten Flächen.

Bei der Bemessung der Blöcke, die einem bekannten Wellenstoß widerstehen sollen, ist zu beachten, daß der Widerstand eines Blockes durch Vergrößerung im kubischen und die Angriffsfläche nur im quadratischen Verhältnis wächst; durch entsprechende Vergrößerung der Blöcke kann mithin ausreichender Widerstand erreicht werden.

Ferner ist die Anwendung möglichst dichten und schweren Steinmaterials zur Erzielung großen Gewichtes wesentlich, da die im Wasser untergetauchten Blöcke durch den Auftrieb erheblich an Gewicht einbüßen. Aus letzterem Umstande ist leicht ersichtlich, daß die Widerstandskraft unter Wasser befindlicher Blöcke durch Belastung mit über Wasser liegenden vorteilhafter vermehrt werden kann als durch Vergrößerung der untergetauchten Blöcke.

Von den durch die Gewalt der Wellen hervorgerufenen Zerstörungen seien einige besonders bemerkenswerte erwähnt.

Bei dem Südermolenkopf in Pillau[1]) gelang die Beschwerung der ihn umgebenden Steinschüttungen durch Blöcke von 15 bis 50 cbm Inhalt nicht, so daß die Unterspülung des Kopfes nicht verhindert werden konnte. Infolgedessen trat im April 1901 eine stärkere Beschädigung des Kopfes ein, indem dieser rd. 1680 t schwere Körper sich am vorderen Ende um 1,32 m senkte und sich gleichzeitig um 3,75 m nach See zu drehte. Erst durch die Anwendung von trapezförmigen Blöcken von 160 cbm Inhalt mit 400 t Gewicht, die an Ort und Stelle in Holzkästen hergestellt wurden, gelang die Befestigung der Steinschüttungen um den Molenkopf herum; doch sind auch diese Blöcke bei den starken Stürmen vom 25. und 26. Dezember 1902 und vom 22. und

[1]) M. Anderson †, Bericht zum X. Internationalen Schiffahrtskongreß in Mailand.

23. Februar 1903 erheblich verschoben worden, so daß zur Schließung der entstandenen Lücken sechs weitere Blöcke von 150 bis 650 t Gewicht hergestellt werden mußten.

An dem gleichen Orte ist mehrfach beobachtet worden, daß runde Steine von 0,5 bis 1 cbm Inhalt und Betonblöcke von 5 bis 10 cbm Inhalt, die zur Abdeckung der Steindeckungen dienten, noch in 4 m Tiefe unter Mittelwasser vertrieben wurden, dagegen in 5 m Tiefe sicher lagen.

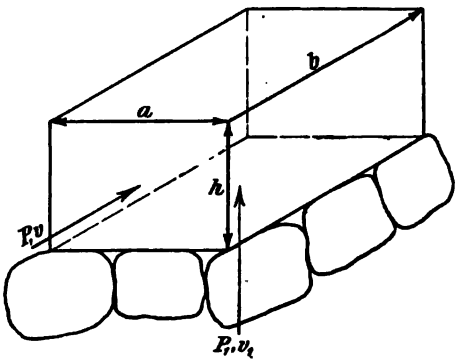


Abb. 87. Auf einen untergetauchten Block wirkende Kräfte.

Anderson stellt in dem genannten Bericht in nachfolgender Weise Berechnungen über die zum Kanten und Heben der verwandten Blöcke erforderlichen Stoßkräfte und Wassergeschwindigkeiten an. Ist P die Angriffskraft des Wassers auf 1 qm, γ und γ_1 das spezifische Gewicht des Wassers bezw. des Blockes, v die Geschwindigkeit des Wassers in m/Sek., Q die gegenstoßende Wassermenge auf 1 qm, sind ferner a, b und h die Abmessungen des Blockes in m nach Abb. 87 und $\gamma_1 = 2{,}5$ t, so ist

$$P \cdot a \cdot h \cdot \frac{h}{2} = a \cdot b \cdot h\,(\gamma_1 - \gamma) \cdot \frac{b}{2},$$

woraus

$$P = \frac{b^2}{h}(\gamma_1 - \gamma) = \sim 1{,}5 \cdot \frac{b^2}{h}.$$

Ferner ist der Stoß gleich Masse mal Beschleunigung, d. h.

$$P = \frac{Q}{g} \cdot \gamma\,(v - v');$$

setzt man hierin

$$v' = 0 \quad \text{und} \quad Q = 1 \cdot v,$$

so ist die zum Kanten des Blockes erforderliche Kraft

$$P = \frac{v^2}{g} = \frac{b^2}{h}(\gamma_1 - \gamma),$$

wozu eine Wassergeschwindigkeit von

$$v = \sqrt{\frac{b^2}{h} \cdot g\,(\gamma_1 - \gamma)}$$

$$v = \sqrt{1{,}5 \cdot \frac{b^2}{h} \cdot g}$$

gehört.

Für rechtwinklige Blöcke von 160 cbm Inhalt und 400 t Gewicht mit $a = 5{,}7$ m, $b = 7$ m und $h = 4$ m ist beispielsweise

$$P = \frac{7^2}{4} \cdot (2{,}5 - 1) = 18{,}4 \text{ t/qm}$$

$$v = \sqrt{1{,}5 \cdot \frac{7^2}{4} \cdot 9{,}81} = 13{,}4 \text{ m/Sek.}$$

erforderlich.

Für ein Heben des Blockes kommt der von unten durch die Hohlräume der Steinschüttung wirkende Stoß in Frage; hierfür ist

$$P_1 \cdot a \cdot b = a \cdot b \cdot h\,(\gamma_1 - \gamma)$$

oder

$$P_1 = h\,(\gamma_1 - \gamma)$$

und, da

$$P_1 = \frac{v_1^2}{g},$$

$$v_1 = \sqrt{P_1 \cdot g}.$$

Bei dem oben als Beispiel gewählten Block wird

$$P_1 = 4 \cdot 1{,}5 = 6 \text{ t/qm}$$

und

$$v_1 = \sqrt{6 \cdot 9{,}81} = 7{,}7 \text{ m/Sek.}$$

Es genügt mithin zum Heben eine erheblich kleinere Kraft als zum Kanten. Aus den für die Stoßkraft abgeleiteten Beziehungen geht ferner hervor, daß zur Vergrößerung des Widerstandes gegen Kanten die Vermehrung der Tiefe des Blockes und gegen Heben die der Höhe führt, besonders wenn sie über den Wasserspiegel hinaus vorgenommen wird.

Anderson nimmt ferner an, daß die Geschwindigkeit der auf eine Küste mit geneigtem Strand auflaufenden Wellen mit der Verringerung der Wassertiefe wächst und ihren größten Wert — den der Fortpflanzungsgeschwindigkeit u der Welle — im Wasserspiegel erreicht, und daß für die Verringerung der Geschwindigkeit die aus Beobachtungen abgeleitete Formel

$$v_t = u - \left(\frac{f^2}{4} + \sqrt{g \cdot t}\right)$$

gilt, worin t die Wassertiefe über dem betreffenden Punkt der Steinböschung bedeutet.

Durch vielfache Beobachtungen glaubt Anderson, für Pillau, um mit Sicherheit zu rechnen, eine bei stärksten auflandigen Winden vorkommende Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 20 m/Sek. annehmen zu müssen. Unter dieser Voraussetzung würden auf einer Steinschüttung liegende Blöcke von der oben angegebenen Größe von 160 cbm erst in 5 m Tiefe ruhig liegen, da hier erst die Wassergeschwindigkeit mit

$$v_t = 20 - \left(\frac{5^2}{4} + \sqrt{9{,}81 \cdot 5}\right) = 6{,}75 \text{ m/Sek.}$$

geringer ist als die zum Heben erforderliche Geschwindigkeit

$$v_1 = 7{,}7 \text{ m/Sek.}$$

Auch diese Untersuchungen sprechen für geschlossene steile Wellenbrecherformen, bei denen die unteren Blöcke sowohl gegen den Stoß von unten unzugänglich, als auch durch das Gewicht der darüberliegenden, aus dem Wasser emporragenden belastet sind.

Ähnliche Erfahrungen wie in Pillau hat man bei den Molen in Ymuiden gemacht; auch hier sind die den Fuß schützenden Basaltsteinvorlagen bei den aus steilen Betonmauern bestehenden Molen durch Blöcke von 10 und 20 t Gewicht belastet. Sie haben sich aber bei starken Stürmen nicht als ausreichend er-

wiesen und wurden ständig verschoben, so daß im Verlauf der Jahre von 1883 bis 1906 über 1400 neue Blöcke in die entstandenen Lücken versetzt werden mußten. Bei dem sehr starken Sturme vom 23. Dezember 1894 wurden fünf von den 20 t schweren Blöcken über die Mole und in den Vorhafen geworfen und 35 andere Blöcke verschoben. Seit 1905 hat man daher an den Molenköpfen das Gewicht der Blöcke durch Anwendung hohler, an Ort und Stelle auszufüllender Eisenbetonkästen auf 80 und 150 t vermehrt.[1])

In gleicher Weise ist auch an anderen Orten die Größe der angewandten Blöcke ständig vermehrt worden, so daß Blöcke von 100 bis 120 t heute keine Seltenheit mehr sind.

In Cherbourg und Algier sind Blöcke von 14 t Gewicht verschoben worden.

In Alderney sind Blöcke von 9 t Gewicht 13 m hoch auf die Krone der Mole geworfen, an den Shetland-Inseln Blöcke von 6 bis 13 t Gewicht nach Stevenson bis 20 m über den Meereswasserspiegel auf einer unter 10 bis 12° geneigten Uferfläche bis 120 m weit befördert worden.

Eine der größten Wirkungen der Gewalt der Wellen wurde an dem Wellenbrecher von Wick in Schottland beobachtet. Das Ende desselben bestand im unteren Teile aus einer Steinschüttung, darüber aus 3 Reihen Blöcken von 80 bis 100 t Gewicht mit vergossenen Fugen und darüber aus einem an Ort und Stelle hergestellten Mauerkörper von 800 t Gewicht. In den Fugen waren zur besseren Verbindung Anker von 76 mm Durchmesser eingelegt worden. Der ganze Aufbau im Gewicht von 1350 t ist im Jahre 1872 bei einem Sturm heruntergeschoben und umgeworfen worden, ohne daß der Unterbau unterspült gewesen wäre. Im Jahre 1877 ist dort ein noch größerer Mauerwerkskörper von 2600 t ebenfalls verschoben worden.

Zum Schluß seien noch die bei dem Sturm vom 27. November 1898 in Genua an dem Molo di Galliera eingetretenen bedeutenden Zerstörungen angeführt,[2]) bei denen Betonblöcke von 40 t Gewicht aus der äußeren Abdeckung der den Molenkörper bildenden Steinschüttung nach allen Richtungen durcheinandergeworfen und bis 50 m weit fortgeschleudert wurden und aus der 3,7 m starken, 5,6 m hohen Brustmauer ein Stück von 200 m Länge herausgerissen, in fünf größere Stücke von 322 bis 1012 t Gewicht zerbrochen und nach dem Innenkai zu verschoben bezw. umgestürzt wurde. Bei dem Sturm ist eine Wellenhöhe bis zu 7 m und ein Emporschleudern von Wassermassen vor der Brustmauer bis zu 20 und 30 m beobachtet worden; aus den vorgefundenen Zerstörungen sind Stoßkräfte zwischen 20,7 und 30,9 t/qm berechnet worden. Bemerkenswert ist noch, daß die Mole vorher 10 Jahre lang häufig Südoststürmen ausgesetzt war, ohne daß besondere Beschädigungen eintraten.

Einzelwellen. Schon eingangs dieses Abschnittes wurde darauf hingewiesen, daß außer durch den Wind auch durch andere, nur einmalig wirkende Ursachen Wellen entstehen können, und zwar sowohl, wenn ein Körper plötzlich in die ruhende Wassermasse hineingeschoben wird, in Form eines einzelnen fortschreitenden Wellenberges oder einer positiven Welle, als auch, wenn ein

[1]) Vergl. hierüber Handbuch für Eisenbetonbau, 2. Aufl. Bd. IV. Berlin 1910. Verlag von Wilh. Ernst & Sohn.

[2]) O. Bernardini, Bericht zum X. Internationalen Schiffahrtskongreß in Mailand 1905.

Körper (oder auch eine Wassermasse) plötzlich aus dem Wasser entfernt wird, in Gestalt eines fortschreitenden Wellentales oder einer negativen Welle.

Solche Wellen, die konzentrisch sich nach allen Richtungen hin fortpflanzen, dehnen sich immer mehr aus, bis sie durch die innere Reibung der Flüssigkeitsteilchen allmählich aufgezehrt werden und ganz verschwinden.

Aus den gleichen Ursachen entstehen die im Meere unter dem Namen Erdbebenwellen oder Seebeben bekannten Wellen bei unterseeischen Vulkanausbrüchen, die mit ungeheurer Geschwindigkeit die Ozeane durchlaufen und die ganze Meereswassermenge in Bewegung setzen. So wurde der durch den Ausbruch des Krakatao in der Sundastraße im August 1883 hervorgerufene Wellenberg an den Küsten Afrikas, Amerikas und selbst Europas bemerkt. In der Algoa-Bucht in Südafrika verursachte er noch Schwankungen von 1,5 m Höhe mit einer Zeitdauer von 70 Min.; aus der durchlaufenen Strecke ergab sich eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 180 m Sek. Da sich hieraus eine Wellenlänge von 756 km ergibt, ist es erklärlich, daß die Wellen bei ihrer im Verhältnis zur Länge sehr kleinen Höhe mit dem Auge zunächst nicht wahrnehmbar waren und durch ihre Wirkungen überraschten.

Bei dem Erdbeben von Simoda in Japan im Jahre 1854 entstand am Ufer eine plötzliche Erniedrigung des Wasserspiegels bis zu 6 m und zeigten wenige Stunden später die Pegel von San Francisco und San Diego starke Schwankungen, woraus sich eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 400 m/Sek. und eine Wellenlänge von 340 km berechnen ließ.

Bekannt sind auch die Verheerungen, die durch Seewellen bei den letzten großen Erdbeben bei San Francisco und bei Messina hervorgerufen wurden.

Beruhigung der Wellen durch Öl. Die schon im Altertum den Griechen bekannte Tatsache, daß auf eine Wasserfläche gegossenes Öl sich schnell ausbreitet und eine Verringerung der Wellenbewegung hervorruft, ist erst in neuerer Zeit ernstlich geprüft und als richtig befunden worden. Das Öl breitet sich hierbei in einer sehr dünnen Schicht bis zu $^1/_{9000}$ mm aus und hindert wahrscheinlich die darunter befindlichen Wasserteilchen an ihrer Bewegung; einwandfreie wissenschaftliche Erklärungen der Erscheinungen stehen zur Zeit noch aus.

Von diesem Mittel ist sowohl von Schiffen als vor Hafeneinfahrten mit Erfolg Gebrauch gemacht worden; bei seiner Anwendung kommt es darauf an, das Öl in kleinen Mengen möglichst weit vorn am Schiff auf die Wasserfläche tropfen zu lassen, wozu am einfachsten ein Sack aus grobem Stoff, der mit Öl durchtränkte Wolle enthält, benutzt werden kann. Nach einer Angabe von Gotthilf Hagen, Seeufer- und Hafenbau, 1. Band, S. 100 benutzten früher die Pillauer Lotsen Öl, um den heftigen Seegang bei der Rückfahrt durch das Seegatt abzuschwächen. Ferner ist nach dem Handbuch der Ingenieurwissenschaften, 3. Band, dritte Abteilung und dritte Auflage, S. 27 in Bergen durch ein vor der Hafeneinfahrt verankertes Schiff und vor der Einfahrt in den Mersey nach Liverpool von dem dort verankerten Feuerschiff aus durch am Grund des Meeres liegende Röhren unter Benutzung von Dampfdruck Öl in der Umgebung ausgebreitet worden, um die Einfahrt zu erleichtern.

Als brauchbar haben sich für den Zweck fast alle Öle erwiesen, doch sollen Tieröle besser als Mineralöle und besonders gut Fischöl wirken.

Versuche, auf die gleiche Weise Deiche oder Wellenbrecher zu schützen, haben bisher befriedigende Ergebnisse nicht gehabt, wie überhaupt die beruhigende Wirkung des Öls nahe dem Ufer auf geringen Tiefen und über Barren und Bänken weniger stark zu sein scheint.

Einen ähnlichen Einfluß wie das Öl haben auch andere auf dem Wasser schwimmende Körper von genügender Ausdehnung, so z. B. Eisstückchen, Fischschuppen, Pflanzen, Seetang, schwimmende Matten aus Segeltuch oder Buschwerk.

3. Winde.[1])

Entstehung der Winde. Die Winde sind infolge ihres Einflusses auf die Entstehung der Wellen und die Veränderungen der Wasserstände, ferner bei ihrer Bedeutung für die Anlage der Hafeneinfahrten, Wellenbrecher und Molen für den Hafenbau eine der wichtigsten Naturerscheinungen, deren Erforschung und Beobachtung zu den unerläßlichen Vorarbeiten jeder Bauanlage am Meere gehört. Auf die Ausführung von Hafenbauten ist die Kenntnis der Windverhältnisse eines Ortes insofern ferner von wesentlichem Einfluß, als von der Ermittlung der ruhigeren, windarmen Jahreszeiten die Festsetzung der Bauzeiten abhängt. Von dem Zweck dieses Buches ist infolgedessen ein kurzes Eingehen auf dieses Gebiet der Meteorologie untrennbar.

Entstehung des Windes. Durch die ungleiche Erwärmung der die Erde umgebenden Luftschicht und die damit verbundene, verschiedene Ausdehnung der Luft entstehen Verschiedenheiten in der Verteilung des Luftdrucks und das Bestreben der Luft, den Gleichgewichtszustand wiederherzustellen, hierdurch werden Luftbewegungen oder Winde hervorgerufen. Eine mitwirkende Rolle spielt dabei der Feuchtigkeitsgehalt der Luft, da feuchte Luft leichter ist als trockene.

Erwärmte Luftschichten dehnen sich aus und nehmen eine größere Höhe an als kältere, sie strömen infolgedessen nach den Seiten über die kälteren Schichten ab. Dauert die Ursache der Erwärmung, die Sonnenstrahlung, längere Zeit an, so wird immer neue erwärmte Luft erzeugt, so daß eine aufsteigende Luftbewegung entsteht, die nun ihrerseits das Nachströmen der benachbarten, kälteren Luft nach dem Ort der Erwärmung von allen Seiten veranlaßt. An dem Ort, wo die Luft sich erwärmt, herrscht infolge der geringeren Dichte und des aufsteigenden Luftstroms ein geringerer Luftdruck als in der Umgebung; die Luftbewegung findet daher stets von den Gebieten des hohen Luftdrucks nach denen niedrigen Drucks statt. Findet eine starke Erwärmung an einer örtlich begrenzten Stelle statt, so strömt die Luft von allen Seiten nach dem Mittelpunkt zu, dehnt sich die Erwärmung auf eine längere Strecke, z. B. wie am Äquator auf einen breiten gürtelförmigen Streifen aus, so ergeben sich breite gleichgerichtete Luftströmungen.

Ablenkung der Windrichtungen. Infolge des Einflusses der Erdumdrehung bewegt sich die Luft nicht genau in der angegebenen Weise, sondern es tritt eine Ablenkung ein.

[1]) Vergl. auch Dr. Julius Hann, Handbuch der Meteorologie, Leipzig 1906, Tauchnitz.

Auf der nördlichen Halbkugel kommen die Luftteilchen, wenn sie sich von den Polen nach dem Äquator zu bewegen, aus Gegenden geringerer in solche mit höherer Umfangsgeschwindigkeit, sie müssen daher gegen diese Gebiete zurückbleiben. Infolgedessen entsteht aus einer von Nord nach Süd eine von Nordost nach Südwest gerichtete, im Sinne der ursprünglichen Richtung nach rechts abgelenkte Bewegung. Das gleiche tritt in dem umgekehrten Falle ein, wenn ein Körper sich vom Äquator nach den Polen zu bewegt; er kommt in Gebiete geringerer Umfangsgeschwindigkeit und eilt infolge der eigenen größeren Geschwindigkeit voraus. Also erfolgt auch bei dieser Bewegungsrichtung eine Ablenkung nach rechts Auf der südlichen Halbkugel sind die gleichen Erscheinungen vorhanden, nur erfolgt die Ablenkung im Sinne der Bewegung nach links. Abb. 88 zeigt in den gestrichelten Pfeilen die theoretische und in den stark ausgezogenen die abgelenkten Windrichtungen.

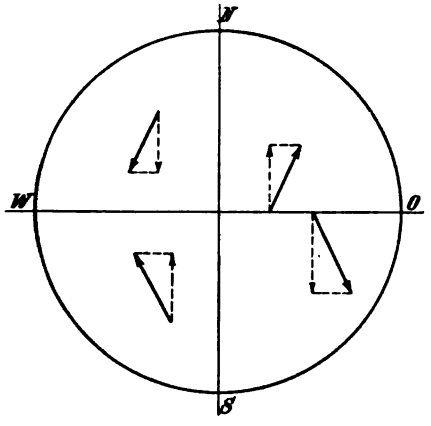


Abb. 88. Darstellung der durch die Erdumdrehung verursachten Ablenkungen der Windrichtungen.

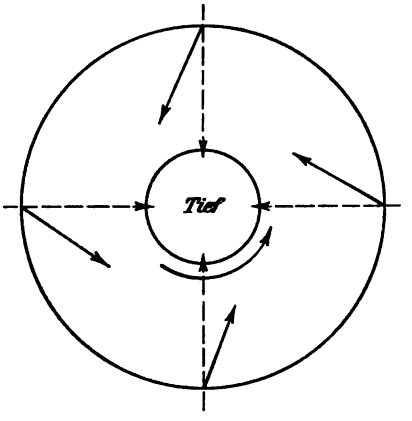


Abb. 89. Richtung der Winde um ein Tief herum.

Naturgemäß tritt die Ablenkung nicht nur bei Luftbewegungen in nord-südlicher oder umgekehrter, sondern auch in jeder anderen Richtung auf; hieraus erklärt sich, daß die Winde meist nicht in der Richtung des Halbmessers einem Gebiet niedrigen Luftdrucks, einem Minimum oder Tief, zuströmen, sondern unter einem kleineren oder größeren Winkel von demselben und zwar auf der nördlichen Halbkugel nach rechts und auf der südlichen Halbkugel nach links im Sinne der Bewegung abgelenkt werden. Infolgedessen entstehen um ein Tief spiralförmige Luftbewegungen, deren Drehung auf der nördlichen Halbkugel dem Zeiger einer Uhr entgegengesetzt- und auf der südlichen gleichgerichtet ist (Abb. 89). Bei großen Luftdruckunterschieden erfolgt die drehende Bewegung mit großer Heftigkeit und es entstehen auf diese Weise die gefürchteten Wirbelstürme (Zyklone, Taifune usw.).

Aus vorstehenden kurzen Andeutungen erhellen die Grundzüge über die Entstehung und Richtung der Winde; die Hauptursache bildet die Verschiedenheit des Luftdrucks an verschiedenen Orten der Erdoberfläche, die wiederum hauptsächlich durch die ungleiche Erwärmung der Luft bedingt wird; mitwirkend kommen der Feuchtigkeitsgehalt der Luft, die Umdrehung der Erde

und die Unregelmäßigkeiten in der Verteilung und Gestaltung der Erdteile in Betracht.

Bezeichnung der Windrichtungen, Isobaren. Ein Wind wird bezeichnet nach der Richtung, aus der er kommt; ein Westwind z B. kommt aus Westen (bei den Meeresströmungen ist die Bezeichnung umgekehrt, eine östliche Strömung geht nach Osten).

Die Windrichtungen werden nach den Richtungen der Kompaßrose benannt; diese entsteht, indem durch fortgesetzte Halbierungen die vier Hauptrichtungen in 32 Teile oder Striche zerlegt werden; jeder Quadrant oder jedes Viertel enthält dann acht Striche von je $11^1/_4{}^\circ$ Größe, deren Bezeichnung gemäß nebenstehender Abb. 90 beispielsweise für den nordöstlichen Quadranten folgende sind:

N, NzO, NNO, NOzN, NO, NOzO, ONO, OzN, O.

Man nennt die nach der Kompaßrose bezeichneten Richtungen rechtweisende, wenn die Richtung des Meridians als Nordrichtung zugrunde gelegt wird, dagegen mißweisende, wenn die jeweilige Richtung der Magnetnadel als Nordrichtung angesehen wird, welche infolge der Verschiedenheit des Erdmagnetismus an verschiedenen Orten der Erde von der Richtung des Meridians eine Abweichung, Deklination oder Mißweisung zeigt und auch im Laufe der Jahrhunderte Änderungen unterworfen ist.

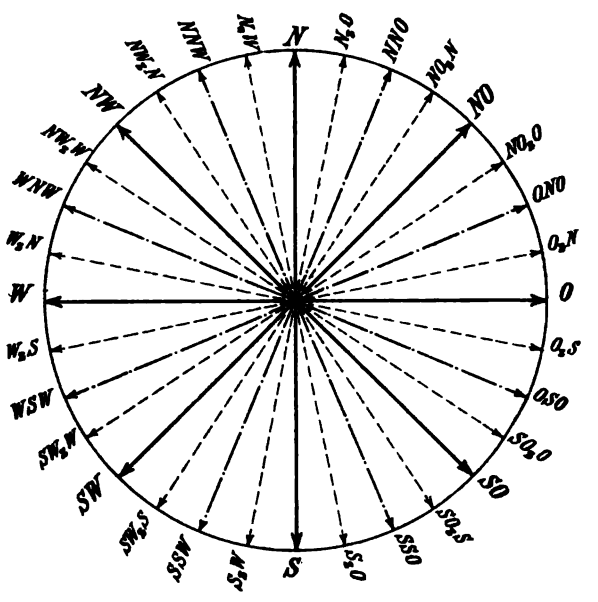


Abb. 90. Windrose mit Strichteilung (1 Strich = $11^1/_4{}^\circ$).

Zur übersichtlichen Darstellung der Verteilung des Luftdrucks werden die an einer großen Zahl von Beobachtungsstellen zu gleicher Zeit abgelesenen und auf Meereshöhe umgerechneten Luftdrücke in Karten eingetragen. Durch Verbindung der Orte gleichen Luftdrucks erhält man dann Linienzüge, Isobaren genannt, deren Gestalt wichtige Schlüsse über die Wetterlage, Windrichtungen und -stärken zuläßt.

Der Höhenunterschied zwischen zwei benachbarten Isobaren gibt unmittelbar ein Maß für den Luftdruckunterschied auf den beiden Linien und damit für die Heftigkeit des Luftausgleichs, d. h. des Windes. Sind die Isobaren für gleiche Luftdruckunterschiede gezeichnet, so wird die Luftbewegung um so stärker sein, je enger die Isobaren aneinanderliegen (Abb. 91) oder je steiler in einem Querschnitt die Verbindungslinien der Luftdrücke a', b', c' und d' über den geschnittenen Isobaren, über a, b, c und d

ansteigen. Es hängt also die Windgeschwindigkeit, ähnlich wie die Wasserbewegung in einem Flusse, von dem Gefälle der Linien a'—b' oder c'—d' ab. Als Maß für dieses Gefälle benutzt man den Gradienten, der auf Linien, welche die Isobaren senkrecht schneiden (A—B in Abb. 91), durch die Anzahl Millimeter gemessen wird, die der Luftdruck in der Richtung des Gradienten auf der Länge eines Grades abnimmt. Als einheitliches Maß für diese Länge wird der Wert eines Grades auf einer Kugel von gleicher Oberfläche wie die Erde mit 111 km angenommen.

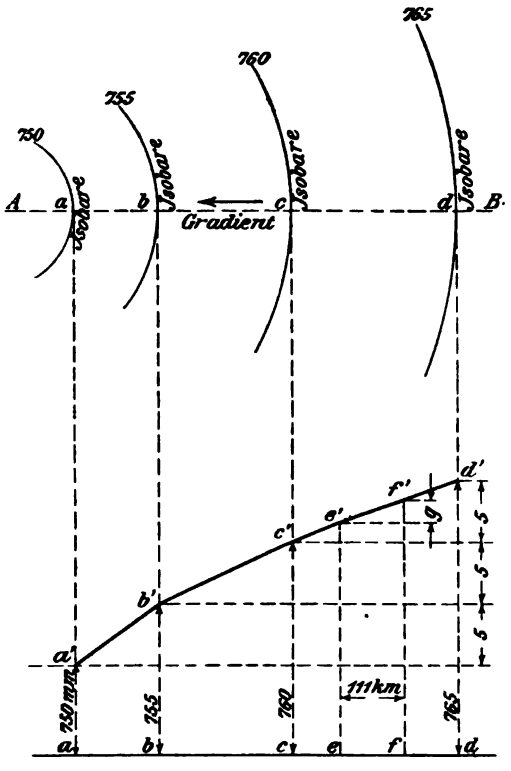


Abb. 91. Aufsicht und Querschnitt durch eine Anzahl Isobaren.

Trägt man daher, wie in dem Querschnitt der Abb. 91, von e bis f auf einem Gradienten eine Länge von 111 km ab und bestimmt den Höhenunterschied g der darüberliegenden Punkte e, und f' in Millimetern, so erhält man durch g die Größe des Gradienten zwischen den Isobaren c und d; es ist leicht ersichtlich, daß dieser zwischen a und b einen größeren Wert annimmt als zwischen c und d.

Bewegungsgesetze. Das Buys-Ballotsche Gesetz lautet: Die Luft strömt von der Gegend höheren Luftdrucks nach den Gegenden niederen Drucks und wird dabei durch die Erdumdrehung auf der nördlichen Halbkugel nach rechts und auf der südlichen nach links abgelenkt.

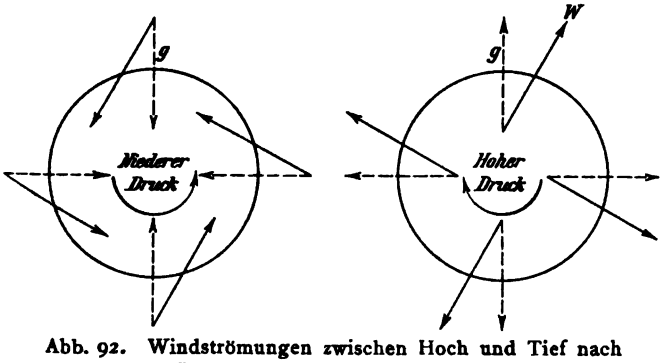


Abb. 92. Windströmungen zwischen Hoch und Tief nach Buys-Ballot auf der nördlichen Halbkugel.

Eine deutliche Vorstellung der Ablenkungen ergeben die Darstellungen der Abb. 92 für die nördliche Halbkugel.

Das Gesetz wird auch oft in folgender Form wiedergegeben: Wendet der Beobachter dem Winde den Rücken zu, so liegt auf der nördlichen Halbkugel der höchste Luftdruck rechts und etwas nach hinten, der niedrigste Luftdruck links und etwas nach vorn (Abb. 93);

auf der südlichen Halbkugel liegt der höchste Luftdruck links und etwas nach vorn, der niedrigste Luftdruck rechts und etwas nach vorn.

Das Stevensonsche Gesetz spricht aus: Die Windgeschwindigkeit ist um so größer und der Wind weht um so stärker, je größer der Gradient ist und je dichter die Isobaren zusammenliegen.

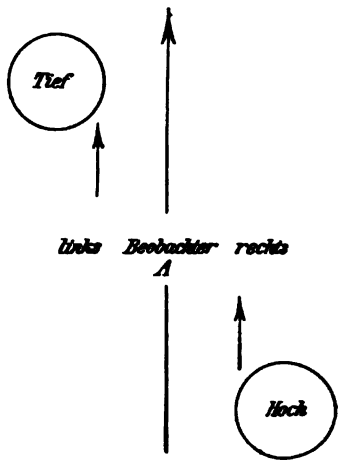


Abb. 93. Lage von Hoch und Tief zu einem mit dem Winde schreitenden Beobachter auf der nördlichen Halbkugel.

Arten der Winde; Passate, Monsune, Land- und Seewinde, veränderliche Winde. Nach der Dauer unterscheidet man ständige, zeitweise und veränderlich wehende Winde.

Zu den ständigen Winden gehören die zu beiden Seiten des Äquators wehenden Passatwinde; sie sind eine Folge der dauernden Erwärmung der Luft am Äquator, die einen aufsteigenden Luftstrom und ständiges Nachströmen von Norden und Süden erzeugen. Infolge der Ablenkung durch die Erdumdrehung erhalten die Passatwinde nördlich vom Äquator nordöstliche und südlich davon südöstliche Richtung. Sie erstrecken sich ungefähr auf eine Breite von je 30° südlich und nördlich vom Äquator und schließen einen schmalen Streifen mit Windstillen und schwachen veränderlichen Winden ein, den Kalmengürtel. Die Passate gelangen am regelmäßigsten im Atlantischen Ozean zur Ausbildung, wo sie eine mittlere Geschwindigkeit von 6 bis 8 m Sek. erreichen; sie wehen im Winter strenger als im Sommer.

Infolge der Veränderlichkeit der Sonnendeklination verschiebt sich die Lage der Passatgürtel mit der Jahreszeit um etwa 10°, sie rücken im Sommer mehr nach Norden und im Winter weiter südlich.

An den nördlichen bezw. südlichen Grenzen der Passate befinden sich über den Ozeanen Gegenden mit schwachen Winden und Windstillen, die Gürtel der Roßbreiten; darüber hinaus herrschen auf der nördlichen Halbkugel SW- und WSW-Winde, auf der südlichen NW- und WNW-Winde, aber nicht so beständig in Richtung und Stärke wie die Passate. Über den Kontinenten erleiden diese Winde vielfache Störungen in bezug auf Richtung und Stärke.

Unter den zeitweise wehenden Winden sind die Monsune die bedeutendsten; sie treten zwischen Land und See ein und entstehen dadurch, daß im Sommer das Land wärmer wird als das Meer und im Winter umgekehrt das Land kälter ist als die See. Dadurch strömt im Sommer die kühlere Seeluft in das Land hinein und fließt im Winter die kältere Landluft auf das Meer hinaus. Jährlich erfolgt daher ein Wechsel zwischen Land- und Seewind, von denen jeder ein halbes Jahr lang weht; ihre Richtung ist nach dem Lande zu oder nach dem Meere zu gerichtet und erleidet die bekannten Ablenkungen durch die Erdumdrehung.

Am ausgedehntesten sind die Monsune zwischen Asien und dem Indischen Ozean; dort herrschen im Winter, bei trockenem und klarem Wetter, strenge Landwinde aus NW vor, sie werden im Sommer nach schroffem Wechsel durch trübe und regenbringende Seewinde aus SW, S bis SO abgelöst.

Ähnliche, aber schwächere Monsune befinden sich an den Küsten Australiens und Westafrikas, ferner in Nordamerika in Texas.

Aus den gleichen Ursachen wie die Monsune, nur mit kürzerem, täglichem Wechsel entstehen die an fast allen Küsten vorkommenden Land- und Seewinde. Das Land erwärmt sich bei Tage rascher und stärker als das Meer, damit auch die Luft über dem Lande, sie steigt empor und fließt in der Höhe nach dem Meere zu ab, während gleichzeitig unten die kühlere Luft von der See gegen das Land hinfließt und den Seewind oder die Seebrise erzeugt (Abb. 94). Bei Nacht liegen die Verhältnisse umgekehrt, das

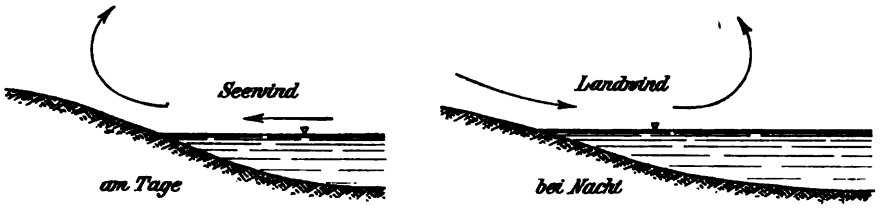


Abb. 94. Darstellung der Entstehuug von See- und Landwind.

Land und die Luft darüber erkalten rascher und stärker als das Meer und die Seeluft, infolgedessen entsteht unten eine Luftströmung vom Lande gegen die See, der Landwind. Zwischen beiden Winden, in den Morgen- und Abendstunden, tritt ein Gleichgewichtszustand, d. h. Windstille ein.

Die Richtung der Land- und Seebrisen ist im allgemeinen rechtwinklig zur Küste; nehmen sie aber größere Ausdehnung an, so erfahren sie auf der nördlichen Halbkugel infolge der Erdumdrehung eine Ablenkung nach rechts. Ihre Drehung im Laufe des Tages erfolgt mit der Sonne, d. h. ein Seewind, der morgens aus O weht, dreht sich gegen Abend nach S und der anschließende, aus W einsetzende Landwind dreht sich über Nacht nach N.

Im allgemeinen tritt die Seebrise in der Zeit von 8 bis 10 Uhr morgens ein; sie erstreckt sich etwa auf einen Küstensaum von 20 bis 40 km und dehnt sich nach der Höhe auch nur wenige Hundert Meter aus. Einige Zeit nach Sonnenuntergang beginnt die meist schwächer wehende Landbrise.

Bei uns machen sich diese Erscheinungen besonders an der pommerschen und preußischen Küste bemerkbar.

Außer ständigen und zeitweise in regelmäßigem Wechsel wehenden Winden treten besonders in der gemäßigten Zone über Nordeuropa aus verschiedenen Ursachen veränderliche Winde aus allen Richtungen der Windrose auf, deren Entstehung nicht so einfachen Gesetzen wie bei den ersteren unterliegt. Auf ihr Entstehen, ihre Richtung und Stärke wirken als Ursachen die Veränderung der Temperaturen bei Tage und bei Nacht, die Verteilung und Gestaltung des Landes, Bergesketten, Landengen, Meeresströmungen, Treibeis, die Berührung der verschiedenen Luftströmungen untereinander usw. ein. Man nennt den Umlauf der Winde, wenn er über N nach O, S und W erfolgt,

rechtdrehend oder ausschießend, dagegen wenn er sich über N nach W, S und O vollzieht, zurückdrehend oder krimpend.

Stürme. Bei den Stürmen erfolgt das Einströmen der kälteren Luft aus den Gebieten hohen Luftdrucks nach einem „Tief" mit großer Heftigkeit.

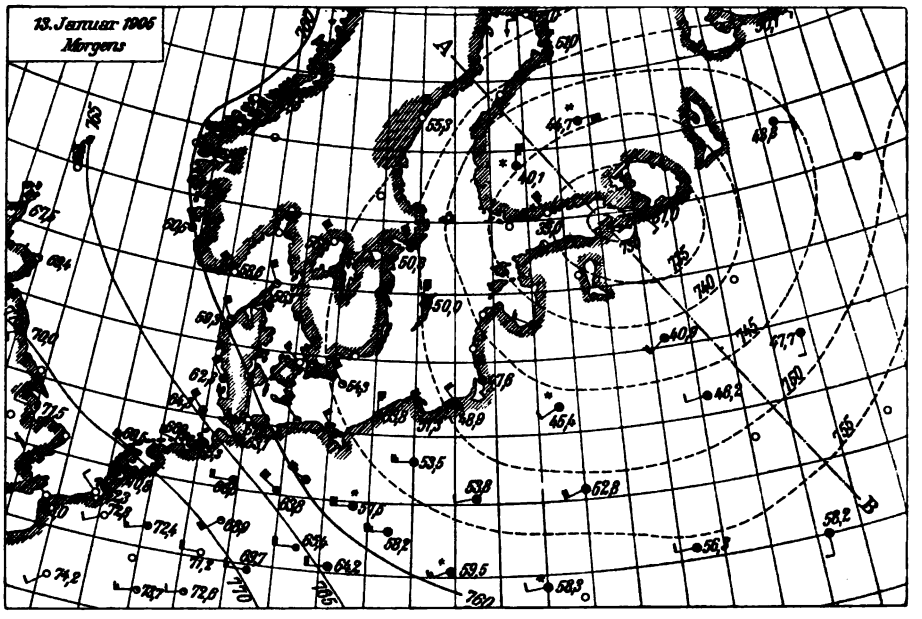


Abb. 95. Sturmbild der Isobaren über Europa am 13. Januar 1905.

Ein Sturmfeld kennzeichnet sich auf den Wetterkarten dadurch, daß die Isobaren geschlossene, meist etwas elliptische Formen annehmen und dicht zusammengedrängt liegen, wie es Abb. 95 auf dem Sturmbild vom Morgen

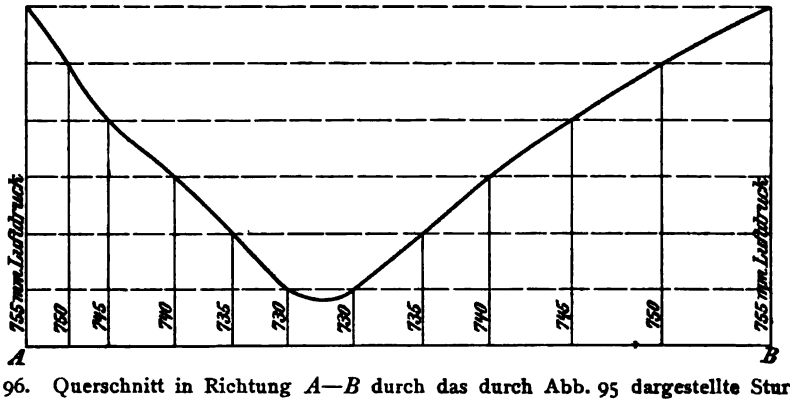


Abb. 96. Querschnitt in Richtung $A—B$ durch das durch Abb. 95 dargestellte Sturmfeld.

des 13. Januar 1905 erkennen läßt. Die Verteilung des Luftdrucks um das Sturmfeld herum zeigt der in Abb. 96 dargestellte Querschnitt.

Über die Größe der Gebiete niedrigen Luftdrucks, die einen Sturm darstellen, werden sehr verschiedene Angaben gemacht; meist kommen in unseren

Gegenden Sturmfelder von 1600 bis 3200 km Durchmesser vor, deren innerer, gefährlichster Teil 320 bis 400 km Ausdehnung annimmt.

Im allgemeinen bewegen sich die meist vom Atlantischen Ozean kommenden Sturmfelder über Europa nach O, und zwar vom Kanal aus häufiger nach NO als nach SO. Zur Vorausbestimmung der Sturmbahnen hat man für die verschiedenen Ankunftsstellen an der Westküste Europas und für die einzelnen Jahreszeiten besondere Zugstraßen der Luftdruck-Tiefgebiete zusammengestellt. Auf diesen ist die Fortschrittsgeschwindigkeit der Sturmfelder ebenfalls sehr veränderlich, in Westeuropa erreicht sie im Mittel 6 bis 8 m/Sek., doch sind sowohl an der englischen als auch an der deutschen Küste Geschwindigkeiten bis zu 34 m/Sek. beobachtet worden.

Das Einströmen der Luft nach der Mitte des Sturmfeldes erfolgt nach den bereits bekannten Regeln nicht in der Richtung der Gradienten, sondern unter veränderlichen Ablenkungen nach rechts. Die Ablenkung ist am kleinsten auf der rechten vorderen Seite des Sturmfeldes, auch sind an dieser Stelle die Isobaren am dichtesten gedrängt (Abb. 95), infolgedessen wird das Einströmen der Luft, d. h. die Windgeschwindigkeit und die Heftigkeit des Sturmes an dieser Seite am stärksten werden.

Bei der Fortbewegung eines Luftdrucktiefgebietes (Barometerdepression) tritt kein Wind in der Bahnrichtung auf, sondern die von demselben erzeugten wirbelnden Winde und Wetterlagen schreiten mit dem Sturmfeld vorwärts Eine Vorstellung der dabei auftretenden Wettererscheinungen erhält man durch Betrachtung des durch Abb. 97 dargestellten schematischen Sturmfeldes, das sich in der Richtung von *A* nach *C* über *B*, von SW nach NO, wie es bei uns häufig der Fall ist, bewegt.

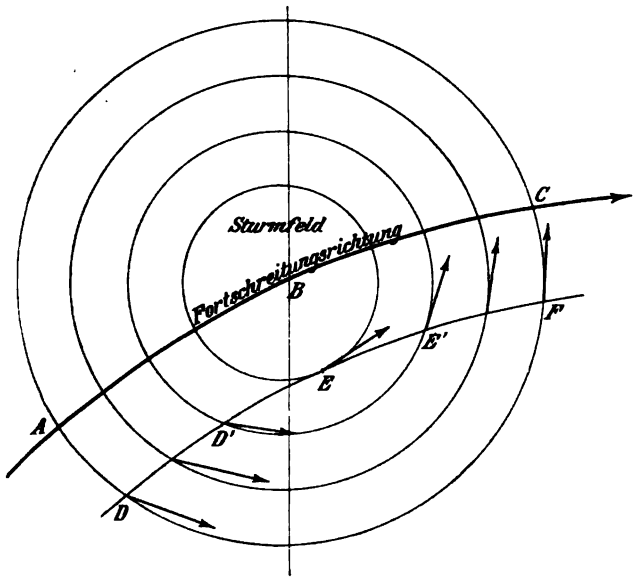


Abb. 97. Darstellung der in einem Ort bei dem Vorübergehen eines Sturmfeldes eintretenden Windrichtungen.

In dem Punkte *F* weht der Wind zunächst aus S und ist warm und schwach, Wolken beginnen sich zu bilden; bei weiterem Fortschreiten kommt *E'* nach *F*, der Luftdruck nimmt ab, der Wind wird stärker und ändert seine Richtung in SW und Niederschläge beginnen.

Kommt darauf Punkt *E* nach *F*, so erreicht der Luftdruck sein Minimum, die Windrichtung wird fast westlich, und der Sturm erreicht seine größte Heftigkeit.

Bei weiterem Fortschreiten, wenn D' und D nach F gelangen, wird der Wind schwächer und mehr und mehr nordwestlich, das Barometer steigt, die Luft wird kühler, und das Wetter schöner.

Der Vorübergang des ganzen Sturmgebietes am Orte F dauert oft bis zu 3 Tagen.

Aus vorstehender Schilderung erkennt man ferner, daß die Änderung der Windrichtungen bei dem Vorübergang eines Sturmes einem bestimmten Gesetz folgt, und zwar dreht sich auf der nördlichen Halbkugel die Windrichtung, wie oben, wenn der Beobachtungsort auf der rechten Seite des Tiefgebietes liegt, mit der Sonne, und wenn er sich auf der linken Seite befindet, aber gegen die Sonne.

Windbeobachtungen, Richtung, Stärke, Druck und Geschwindigkeit. Als Unterlage für die Beurteilung der Windverhältnisse eines Ortes dienen über längere Zeiträume ausgedehnte Beobachtungen von Windrichtung und -stärke. Da beide Beobachtungsgrößen an vielen Orten regelmäßigen täglichen Schwankungen unterworfen sind, müssen die Beobachtungszeiten den örtlichen Verhältnissen angepaßt werden; an den deutschen Küsten wird z. B. um 8 Uhr morgens, 2 Uhr nachmittags und 8 Uhr abends beobachtet.

Zur Beobachtung der Windrichtung dienen Wind- oder Wetterfahnen, die auf möglichst hohen, von störenden Einflüssen freien Punkten aufgestellt und bisweilen mit Einrichtungen zur fortlaufenden Aufzeichnung der Windrichtungen versehen werden. Auf dem Lande wird meistens nur nach den 8 Hauptrichtungen, auf der See dagegen nach 16 Richtungen der Windrose beobachtet. Erwähnt sei, daß in meteorologischen Veröffentlichungen die Richtung O durch E (est) bezeichnet wird, um Verwechslungen mit der in romanischen Ländern üblichen Benennung der Westrichtung durch O (ouest) zu vermeiden.

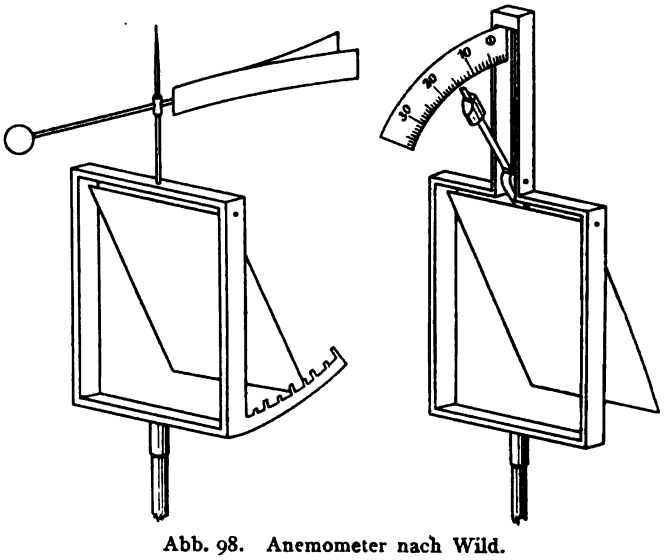


Abb. 98. Anemometer nach Wild.

Zur Bestimmung der Windstärke wird die Größe des Winddrucks oder der Windgeschwindigkeit gemessen. Im ersteren Falle werden nach Wild, 1862, an einer wagerechten Achse freibeweglich aufgehängte und durch eine Windfahne stets senkrecht zur Windrichtung gestellte Tafeln verwandt, deren Neigung gegen die Lotrechte die Beurteilung der Stärke des Windes gestattet. Die Ablesung der Windstärke erfolgt an einer Teilung mit Graden oder mit Zähnen, die den einzelnen Windstärken entsprechen (Abb. 98).

Nach Osler, 1839, werden in England zur Messung der Windstärke quadratische, stets senkrecht zum Wind gerichtete, auf Federn gelagerte Platten benutzt, deren Verschiebung ein Maß für den Winddruck ergibt.

Am bekanntesten und verbreitetsten ist das Schalenkreuz-Anemometer von Robinson, 1852; während bei den erstgenannten Vorrichtungen die augenblickliche Windstärke unmittelbar und auch die einzelnen Windstöße angegeben werden, gibt das Schalenkreuz-Anemometer die mittlere Windgeschwindigkeit während einer kürzeren oder längeren Zeit an (Abb. 99).

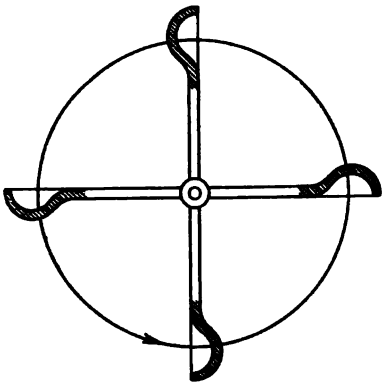


Abb. 99. Schalenkreuz-Anemometer nach Robinson.

Es besteht aus einem wagerechten, um eine lotrechte Achse leicht drehbaren Kreuz von vier gleich langen Armen mit halbkugelförmigen, lotrecht stehenden und nach derselben Richtung hin geöffneten Schalen an den Enden. Durch eine Schraube ohne Ende am Fußpunkt der lotrechten Achse wird ein Zählwerk angetrieben, das gewöhnlich auch zur Aufzeichnung der Windgeschwindigkeit ausgebildet ist. Da die Zahl der Umdrehungen des Schalenkreuzes der Windgeschwindigkeit proportional ist, kann aus der für einen bestimmten Zeitraum aufgezeichneten Zahl von Umdrehungen die mittlere Windgeschwindigkeit bestimmt werden. Für jeden Apparat muß das Verhältnis der Umdrehungsgeschwindigkeit der Schalen zur Windgeschwindigkeit besonders festgestellt werden; bei den gebräuchlichen Ausführungen liegt der Wert dieses Verhältnisses näher an 3 als an 2.

Während die Apparate von Wild und Osler unmittelbar die Ablesung der Größe des Winddrucks gestatten, ist bei den Schalenkreuz-Anemometern eine Umrechnung erforderlich, bei der das Verhältnis von Windgeschwindigkeit zu dem Winddruck gebraucht wird. Durch zahlreiche Beobachtungen ist festgestellt, daß der Winddruck mit dem Quadrate der Windgeschwindigkeit wächst, d. h. es ist

$$P = k \cdot v^2 \quad (P \text{ in kg/qm}, \ v \text{ in m/Sek.}).$$

Für k sind am gebräuchlichsten Größen von 0,12 bis 0,125.

Die Genauigkeit dieser Formel ist nur eine angenäherte, da die Größe und Gestalt der vom Winde getroffenen Fläche einen wesentlichen Einfluß auf die Größe des auf sie entfallenden Winddrucks hat.

Für praktische Zwecke wird an Stellen, wo keine Meßvorrichtungen vorhanden sind, die Stärke des Windes durch Beobachtungen der Windwirkung an Bäumen, Dächern, Wellen usw. geschätzt. Am gebräuchlichsten ist hierzu auf der See und an Küstenplätzen die internationale Beaufortsche Skala, bei der zwischen Windstille und Orkan 12 Stufen unterschieden werden. Für Inlandbeobachtungen wird häufig eine sechsteilige Landskala benutzt, deren Stufen etwa den geraden Teilen der zwölfteiligen Beaufort-Skala entsprechen.

Nachstehende Tabelle gibt eine Darstellung der Beaufortschen Seeskala, verglichen mit den entsprechenden Wirkungen auf den Seegang.

Beaufort-Skala.

Wind					Seegang		
Stärke	Bezeichnung	Geschwindigkeit in m/Sek.	Geschwindigkeit in Knoten je Std.	Druck in kg/qm	Stärke	Bezeichnung	Wellenhöhe in m
0	Windstille oder sehr leiser Zug . . .	0–1,3	0–2,5	0–0,2	0	vollkommen glatte See.	0
1	leiser Zug	3,6	7,0	1,5	1	sehr ruhige See . . .	< 1
2	flaue Brise	5,8	11,3	4,1	2	ruhige See	1–2
3	leichte Brise . . .	8,0	15,6	7,7	3	leicht bewegte See . .	2–3
4	mäßige Brise . . .	10,3	20,0	12,6	4	mäßig bewegte See . .	3–4
5	frische Brise . . .	12,5	24,3	18,9	5	ziemlich grobe See . .	4–5
6	steife Brise . . .	15,2	29,6	27,9	6	grobe, unruhige See .	6–7
7	harter Wind . . .	17,9	34,8	38,7	7	hohe See	8–9
8	stürmischer Wind .	21,5	41,8	55,6			
9	Sturm	25,0	48,6	75,6	8	sehr hohe See . . .	10–12
10	starker Sturm . . .	29,1	56,6	102,5			
11	schwerer Sturm . .	33,5	65,1	135,7	9	heftige Sturmsee . . .	> 12
12	Orkan	40,2	78,1	195,5		gewaltig schwere See .	

In anschaulicherer Weise als die Tabelle zeigt nachstehende zeichnerische Darstellung die Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Winddruck (Abb. 100).

Über die Angaben der Größtwerte der Windgeschwindigkeit und des Winddrucks herrscht große Unsicherheit. Für erstere sind Zahlen von 50 m und mehr in einzelnen Stößen beobachtet worden; für den letzteren sind Drücke von 100 bis 150 kg/qm noch als häufig, 200 bis 250 kg/qm als außergewöhnlich zu betrachten. Darüber hinaus hat der zur Untersuchung des Taybrückeneinsturzes eingesetzte Ausschuß in England 273 kg/qm für die Berechnung der neuen Brücke nach längeren Messungen vorgeschrieben.

Verwertung der Windbeobachtungen. Bei Hafenbauten kommt es hauptsächlich darauf an, die Richtung der herrschenden Winde, d. h. derjenigen, die am häufigsten wehen, zu bestimmen; außerdem ist noch die Richtung heftigster Winde, der Sturmwinde, von Bedeutung. Häufig fällt letztere mit der an dem Orte möglichen größten Streichlänge des Windes, der Richtung, in der die gegenüberliegende Küste die größte Entfernung hat, zusammen.

Mit Hilfe der vorstehend beschriebenen Vorrichtungen werden an zahlreichen Orten der Binnenländer und der Küsten regelmäßige Windbeobachtungen vorgenommen. In Deutschland werden diese von der dem Reichs-Marineamt unterstellten Deutschen Seewarte in Hamburg gesammelt und in regelmäßigen und zeitweise erscheinenden Druckschriften veröffentlicht.

Für Hafenbauzwecke sind dadurch an deutschen Küsten und in anderen Kulturstaaten schätzenswerte Unterlagen vorhanden. An fremden Küsten gehören Windbeobachtungen zu den wichtigsten Vorarbeiten.

Bei der Bearbeitung der Windbeobachtungen wird entweder die Ermittlung der Windhäufigkeit in den Hauptrichtungen für bestimmte Zeitabschnitte,

Monate, Jahreszeiten, Jahre und noch längere Zeiten, durch Auszählung vorgenommen, oder es werden Mittel für die Windgeschwindigkeit (damit auch für die Windstärke) für Stunden, Tage, Monate usw. gebildet, oder endlich,

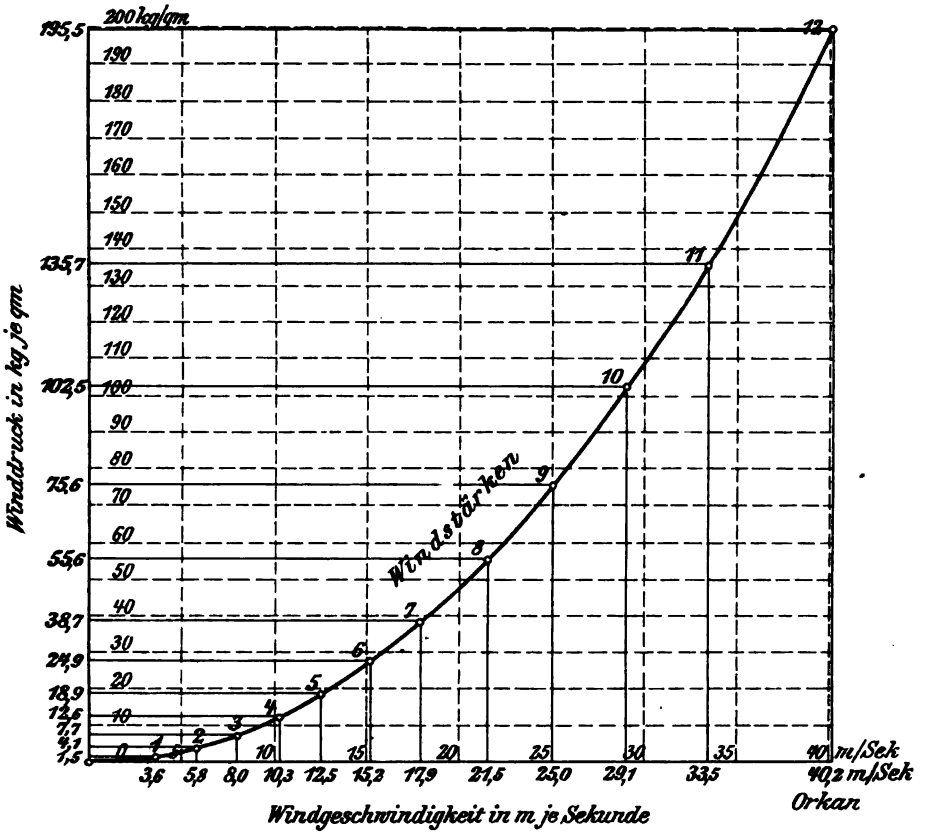


Abb. 100. Zeichnerische Darstellung der Abhängigkeiten von Winddruck und Windgeschwindigkeit.

es werden die Häufigkeiten mit den mittleren Geschwindigkeiten durch Multiplikation vereinigt. In letzterem Falle erhält man für jede Richtung die in dem Zeitabschnitt zurückgelegten Windwege; eine noch richtigere Vorstellung von den Windstärken erzielt man durch Multiplikation der für die einzelnen Richtungen berechneten Häufigkeitszahlen mit den Quadraten der mittleren Geschwindigkeiten, da die Winddrücke mit dem Quadrat der Geschwindigkeit wachsen. Zweckmäßig werden die erhaltenen Häufigkeitswerte in Hundertteilen der Gesamtzahl der Beobachtungen angegeben. Da an den Küstenorten die Windrichtungen eine ausgesprochene tägliche Periode haben und deshalb am Tage zu verschiedenen Zeitpunkten beobachtet wird, in Deutschland z. B. um 8 Uhr morgens, 2 Uhr nachmittags und 8 Uhr abends, so ist es ratsam, die Berechnungen für jede der Beobachtungszeiten anzufertigen.

Die Ergebnisse der Berechnungen werden meistens in Tabellen zusammengestellt, für Bauzwecke empfiehlt es sich jedoch, der größeren Übersichtlichkeit wegen zeichnerische Darstellungen vorzuziehen.

Eine der am häufigsten angewandten Formen dieser Darstellungen entsteht, indem man auf den Strahlen einer Windrose die für jede Windrichtung berechneten Häufigkeitswerte in irgend einem Maßstabe aufträgt; man erhält dann die sogenannten „Windsterne", von denen Abb. 101 links einen für Neufahrwasser über den 25jährigen Zeitraum von 1875 bis 1900 zeigt. Vielfach

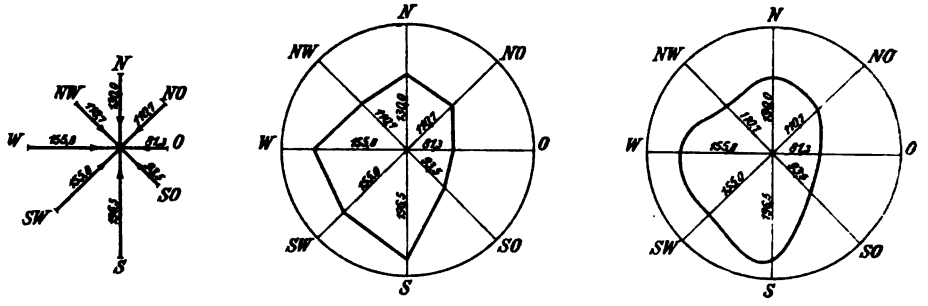


Abb. 101. Verschiedene zeichnerische Darstellungen der Windhäufigkeiten in Neufahrwasser in der Zeit von 1875 bis 1900.

werden auch die Endpunkte der Strahlen durch gerade oder gebogene Linienzüge verbunden und dadurch die in Abb. 101 in der Mitte und rechts gegebenen Bilder gewonnen. Derartige Windsterne sollten jedem Hafenlageplan beigefügt werden, da dadurch das Verständnis seiner Anordnung wesentlich erleichtert wird.

Aus diesen Darstellungen kann ferner die für manche Zwecke wissenswerte Bestimmung der mittleren Windrichtung zeichnerisch leicht abgeleitet werden, indem man die einzelnen Strahlen wie Kräfte nach Richtung und Größe zusammensetzt und in der Gesamtmittelkraft die mittlere Windrichtung nebst ihrem Häufigkeitswert erhält. So ist z. B. nach Abb. 102 für Neufahrwasser die mittlere Windrichtung etwas südwestlich mit dem Häufigkeitswert 155,0. Auch rechnerisch kann man nach dem von Lambert angegebenen Verfahren leicht die mittlere Windrichtung bestimmen. Danach werden die innerhalb eines Quadranten liegenden Beobachtungen durch Multiplikation mit dem Kosinus ihres Neigungswinkels auf die 4 Hauptrichtungen projiziert, so daß 4 Komponenten entstehen; darauf werden die für N und S sowie die für O und W erhaltenen Werte subtrahiert, wodurch 2 Komponenten a und b erhalten werden, aus denen die Größe der Mittelkraft sich aus der Beziehung $\sqrt{a^2+b^2}$ und ihre Richtung aus $\operatorname{tg}\varphi = \frac{a}{b}$ ergibt.

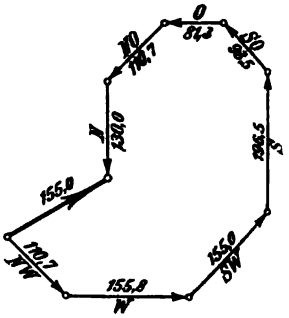


Abb. 102. Ermittelung der mittleren Windrichtung.

Bei Beobachtungen nach 8 Richtungen erhält man beispielsweise für die N- und O-Komponente

$$N + NO\cos 45 + NW\cos 45°$$
$$O + NO\cos 45 + SO\cos 45°$$

usw.; werden 16 Richtungen beobachtet, so lautet der Ausdruck für die N-Komponente

$$N + NNO\cos 67^1/_2 + NO\cos 45 + ONO\cos 22^1/_2 + NNW\cos 67^1/_2 + NW\cos 45 + WNW\cos 22^1/_2$$

und ähnlich für die anderen.

Zur Mitberücksichtigung der Windgeschwindigkeiten bezw. Windstärken bei den zeichnerischen Darstellungen können verschiedene Wege eingeschlagen

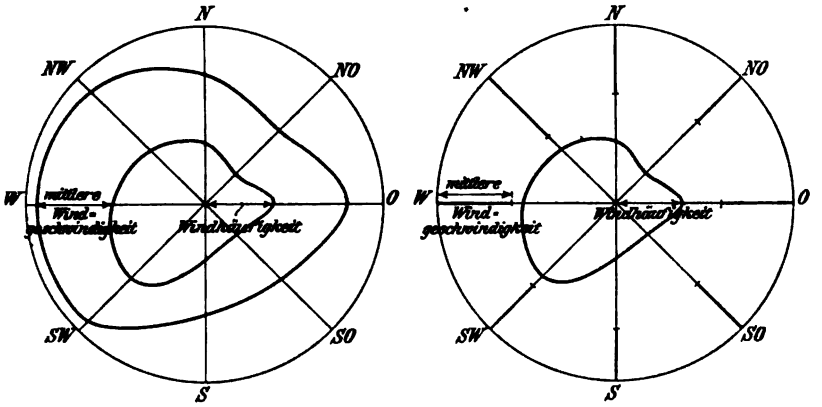


Abb. 103. Gemeinsame Darstellung von Windhäufigkeit und mittlerer Windgeschwindigkeit links aneinander anschließend — rechts von den Endpunkten der Halbmesser aus nach entgegengesetzten Richtungen.

werden. Zunächst kann man für die den einzelnen Windrichtungen entsprechende Zahl von Beobachtungstagen die mittlere Windgeschwindigkeit ausrechnen und die erhaltenen Werte in die Häufigkeitsdarstellungen eintragen, und zwar entweder vom Mittelpunkt aus oder an die Häufigkeitslinien anschließend oder vom Rande des Kreises aus, wodurch die nachstehenden Darstellungen der Abb. 103 erhalten werden. In letztgenanntem Falle können für die Darstellung der mittleren Windstärke auch die auf Wetterkarten gebräuchlichen gefiederten Pfeile benutzt werden, bei denen eine

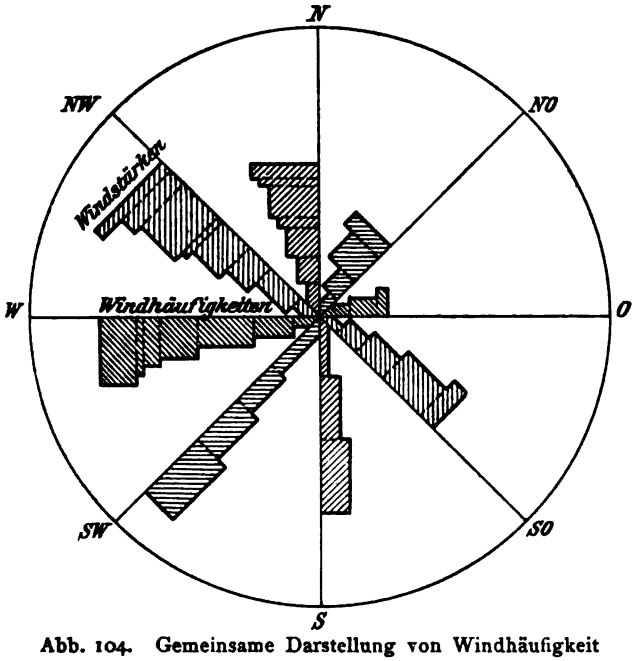


Abb. 104. Gemeinsame Darstellung von Windhäufigkeit und Windstärke.

ganze Feder 2 Grade der Beaufort-Skala bedeutet. Einen klareren Einblick in die Windverhältnisse eines Ortes gibt nachstehende Darstellung, bei der die Windstärken senkrecht zu den auf den Halbmessern aufgetragenen Häufigkeiten abgesetzt werden; es bleibt dann das Vorkommen der einzelnen, besonders der größten Windstärken erkennbar und verschwindet nicht durch Mittelung (Abb. 104).

Für die Herstellung von Jahresübersichten kann auch die durch Abb. 105 vorgeführte Anordnung gebraucht werden, in der jede Tagesbeobachtung in einem der Vierteljahrsringe nach Richtung und Größe zur Auftragung gelangt.

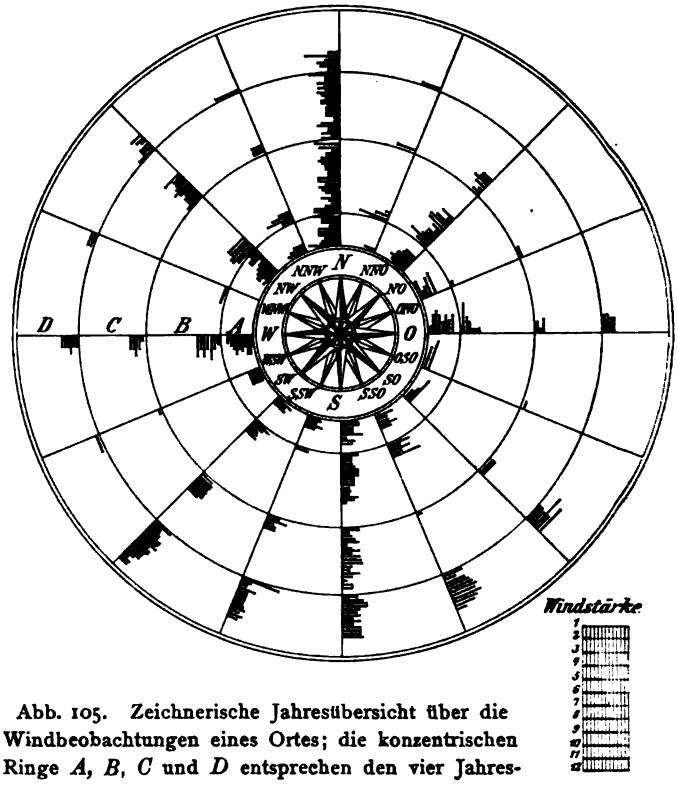


Abb. 105. Zeichnerische Jahresübersicht über die Windbeobachtungen eines Ortes; die konzentrischen Ringe *A*, *B*, *C* und *D* entsprechen den vier Jahreszeiten, jede Beobachtung ist durch einen Strich nach dem links angegebenen Maßstabe eingezeichnet.

Endlich können bei der Darstellung die Produkte aus Häufigkeit und mittlerer Windgeschwindigkeit bezw. dem Quadrat derselben in irgend einer Form zur Aufzeichnung gelangen.

Beachtenswerte Studien über die Windverhältnisse der Ostsee hat Baensch in der Zeitschrift für Bauwesen 1872 veröffentlicht.

Wirkung des Windes auf das Meer. Aufstau der Wasserflächen. Durch die unmittelbare Einwirkung des Windes auf das Meer entstehen Wellen und Strömungen, außerdem entsteht durch den Winddruck auf große Wasserflächen in der Richtung des Windes ein Aufstau und auf der entgegengesetzten Seite eine Senkung; beide können bedeutende Größen erreichen. Die durch Windstau an der Ostsee hervorgerufenen Wasserstandsschwankungen führen Hebungen bis 3,26 m und Senkungen bis 1,76 m über bezw. unter Mittelwasser herbei, so daß sie an Größe den Ebbe- und Flutschwankungen nicht nachstehen.

Über die an wichtigen Orten der deutschen Ostseeküste bisher aufgetretenen Wasserstandschwankungen gibt nachstehende Zusammenstellung Aufschluß.

Daraus ist ersichtlich, daß die Wasserstandsschwankungen in Übereinstimmung mit den Streichlängen der Winde im westlichen Teil der Ostsee

Zusammenstellung von Wasserständen und Wasserstandsschwankungen an der Ostsee.

Beobachtungsort	Höhenlage des Pegel-Nullpunktes über NN.	Höhenlage des Mittelwassers über NN.	Bisher beobachteter höchster Wasserstand über NN.	Bisher beobachteter höchster Wasserstand am	Bisher beobachteter niedrigster Wasserstand über NN.	Bisher beobachteter niedrigster Wasserstand am	Größte Erhebung über M.-W.	Größte Senkung unter M.-W.	Größte Gesamtschwankung
Flensburg . . .	— 2,295	— 0,248	+ 3,015	13. XI. 1872	— 1,915	12. III. 1906	3,263	1,667	4,93
Kiel, Marine-Pegel	— 0,277	— 0,173	+ 2,863	13. XI. 1872	— 1,937	29. XI. 1906	3,036	1,764	4,80
Stralsund	— 1,251	— 0,081	+ 2,500	13. XI. 1872	— 1,130	7. IV. 1904	2,581	1,049	3,63
Swinemünde . . .	— 1,074	— 0,064	+ 2,226	10. II. 1874	— 1,254	11. XII. 1868	2,290	1,190	3,48
Kolbergermünde .	— 1,607	— 0,078	+ 2,163	9./10. II. 1874	— 1,047	29. XII. 1874 / 10. II. 1897	2,241	0,969	3,21
Neufahrwasser . .	— 3,591	— 0,091	1,669	17. I. 1818	— 1,051	20. I. 1887	1,760	0,960	2,72
Pillau	— 2,475	— 0,075	+ 0,925	12. II. 1894 u. 96 / 6. XII. 1899	— 1,005	12. XII. 1839	1,000	0,930	1,93
Memel	— 0,454	+ 0,006	1,506	12. III. 1849	— 0,904	8. XII. 1862	1,500	0,910	2,41

am bedeutendsten sind und nach Osten hin abnehmen. Die durch den Windaufstau hervorgerufene Anhäufung des Wassers in einzelnen Meeresteilen ruft naturgemäß Strömungen hervor, auf die im nächsten Abschnitt noch zurückgekommen werden wird.

Sturmfluten. An dem Zustandekommen der höchsten, mit NO- oder ONO-Stürmen verbundenen Erhebungen im westlichen Teile der Ostsee, die in Flensburg, Kiel und Stralsund gleichzeitig am Tage der berüchtigten Ostsee-Sturmflut vom 13. November 1872 eintraten, haben auch die an den Tagen vorher wehenden Winde wesentlichen Anteil.[1]) Vor jenem Tage wehte längere Zeit ein SW- und W-Sturm, unter dessen Einwirkung der Wasserspiegel von Aarösund bis hinter Pillau schnell sank und sich im östlichen Teile der Ostsee anstaute, so daß sowohl der natürliche Abfluß der Ostsee nach der Nordsee auf mehrere Tage stockte, als auch durch das Kattegatt große Mengen Nordseewasser der Ostsee zugeführt wurden und einen Ausgleich der Senkung und eine Erhebung des Wasserstandes bewirkten. Als nun der Sturm von NO einsetzte, begann die Ausschwingung des überfüllten Ostseebeckens nach Westen, bei der durch den am Abend des 12. November bis zum Orkan anschwellenden Wind die Wassermassen bis zu der angegebenen ungewöhnlichen Höhe auf die westlichen Ufer hinaufgetrieben wurden, wobei die Erhöhung durch die nach Westen zu trichterförmige Gestalt des Beckens noch begünstigt wurde.

Über weitere folgenschwere Sturmfluten der Ostsee wird aus dem Anfang des 14. Jahrhunderts, vom 10. Februar 1625, vom 10. bis 11. Januar 1694 und aus dem Jahre 1784 berichtet. Im Vergleich mit der Nordsee treten sie verhältnismäßig selten auf.

---

[1]) Vergl. Baensch, Die Sturmflut an den Ostseeküsten des preußischen Staates vom 12. bis 13. November 1872.

Lentz, Ebbe und Flut, S. 126 u. f.

Nicht außer acht zu lassen ist bei der Betrachtung der aufstauenden Wirkung des Windes, daß die gleichzeitig erregten hohen Wellen die verheerende Wirkung der hohen Fluten vermehren.

Durch einen Vergleich der Mittelwasserstände der in der Zusammenstellung auf S. 173 angegebenen Orte ergibt sich ferner ein Ansteigen des Ostseespiegels von Westen nach Osten, und zwar von Flensburg bis Memel um rd. 25 cm. Wie Lentz in seinem mehrfach erwähnten Werk „Flut und Ebbe" nachweist, erklärt sich diese Tatsache durch die aufstauende Wirkung der vorherrschend westlichen Winde; zur Zeit östlicher Winde vermindert sich dieser Unterschied.

In noch stärkerem Maße als in der Ostsee trägt die Wirkung des Windes zur Bildung der Sturmfluten in der Nordsee bei, von deren Gewalt die Bildung des Jadebusens (1066), des Dollart (1377), der Zuider-See und viele andere Zerstörungen der Küsten Zeugnis ablegen. Durch das Hinzutreten von Ebbe und Flut wird die Erforschung der Entstehung der Sturmfluten und aller dabei mitwirkenden Umstände noch verwickelter, ihre Wirkung aber um so gewaltiger und gefahrbringender. Während jedoch in der Ostsee die nördlichen und nordöstlichen Stürme besonders gefürchtet sind, werden in der Nordsee die Nordweststürme am verderblichsten für die deutsche Küste.

Dort treten die größten Sturmfluten dann ein, wenn ein lange anhaltender heftiger Sturm aus NW oder WNW das Nordseebecken ungewöhnlich anfüllt und diese Wassermassen in dem südlichen, buchtartigen Teil der Nordsee zusammendrängt und aufstaut.

Kommt noch eine besonders hohe Flut hinzu, so erreichen die Wasseranschwellungen an der südlichen Nordseeküste außerordentliche Höhen und verursachen durch den gleichzeitig auftretenden heftigen Seegang gewaltige Zerstörungen. Wie aus den Untersuchungen von Lentz hervorgeht, bleiben bei dem Zusammenwirken von Flut und Ebbe mit einem starken Sturm die durch die Flutwelle erzeugten regelmäßigen Schwankungen fast ungestört von der größeren, durch die Sturmflutwelle erzeugten Schwellung. Bei dem Zustandekommen der Sturmfluten üben die Flutwellen nur einen mitwirkenden Einfluß aus, in erster Linie maßgebend sind die aus nordwestlicher Richtung wehenden orkanartigen Winde und die hierdurch hervorgerufenen Wasseranstauungen.

Eine der stärksten, durch Sturm aus der offenen See hervorgerufenen Sturmfluten hat an der deutschen Küste am 3. und 4. Februar 1825 für viele Küstenorte den höchsten bekannten Wasserstand erzeugt. Ein nur wenig geringerer wurde am 1. Januar 1855 beobachtet. In Kuxhaven z. B. stieg das Wasser am 4. Februar 1825 bis auf 3,48 über die mittlere Hochwasserhöhe. In beiden Fällen spielten heftige Winde aus nordwestlicher Richtung bei ihrer Entstehung die Hauptrolle.

Häufiger dagegen treten Stürme auf, die aus südlicher Richtung beginnen und dann über Westen nach Nordwesten herumgehen, sogenannte Ausschießer ihre Wirkung ist zwar plötzlicher und unregelmäßiger, jedoch weniger gefährlich.

Ein Zusammenhang der Sturmfluten mit den Syzygien und dadurch auch mit den durch den Mond hervorgerufenen Springfluten hat sich bisher nicht feststellen lassen.

Über die Häufigkeit der Sturmfluten in der Nordsee und ihre Verteilung auf die einzelnen Jahreszeiten und Monate hat Eilker in seiner Arbeit „Die Sturmfluten in der Nordsee" eingehende Nachforschungen angestellt. Danach werden die deutschen Küsten in jedem Jahrhundert durchschnittlich von 50 schweren Sturmfluten heimgesucht. Von diesen sind 323 bis zum Jahre 1850 näher bekannt; sie verteilen sich auf die einzelnen Monate, wie nebenstehende zeichnerische Darstellung (Abb. 106) zeigt, so, daß in den November und die benachbarten Monate die größte und in den Juni und Juli die geringste Anzahl von Sturmfluten fallen.

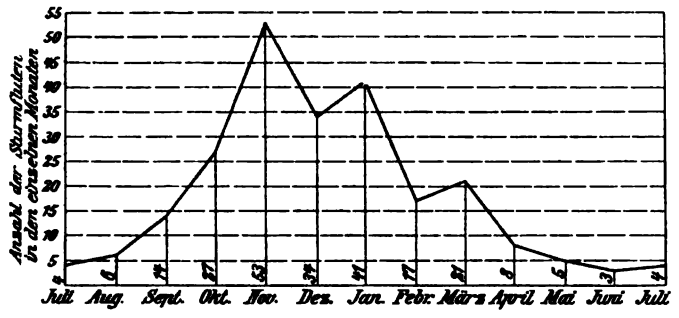


Abb. 106. Verteilung der Sturmfluten der Nordsee auf die einzelnen Monate.

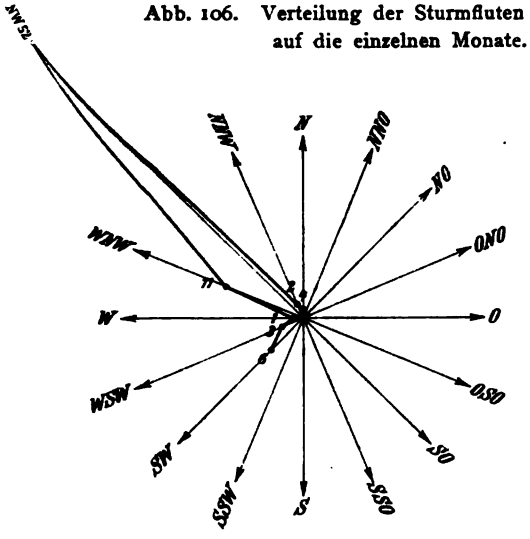


Abb. 107. Zeichnerische Darstellung der Windrichtungen bei den Sturmfluten der Nordsee.

Für 76 der vorgenannten Fluten sind auch die Windrichtungen sicher angegeben; trägt man die für die einzelnen Richtungen ermittelten Zahlen auf einer Windrose auf, so ergibt sich das durch Abb. 107 dargestellte Bild, das deutlich zeigt, wie bei der Entstehung der Sturmfluten ausschließlich westliche Winde in Frage kommen und wie die Stürme aus NW dabei die Hauptrolle spielen. Sehr häufig hat sich bei besonders schweren Sturmfluten die Sturmrichtung nach und nach von SW nach NW geändert.

Lehrreich ist auch ein Vergleich der in einem längeren Zeitraum überhaupt vorgekommenen Orkane mit der Verteilung der Sturmfluten. Eilker erhält hierbei das Ergebnis, daß in den Wintermonaten sowohl die Anzahl der Orkane, als auch die der Sturmfluten ungefähr fünfmal so groß ist als in den Sommermonaten.

Ebenso wie durch starke und lange, aus einer Richtung wehende Winde ungewöhnliche Anschwellungen des Wasserspiegels an dem einen Ufer verursacht werden, so entstehen gleichzeitig an dem gegenüberliegenden auch starke Senkungen des Wasserspiegels, die zwar den Ufern und Deichen meist unschädlich sind, wohl aber der Schiffahrt große Gefahren durch Verringerung der Wassertiefe bringen. Bisweilen können auch Ufermauern durch solche plötzlichen und starke Senkungen durch den Überdruck der durchnäßten Hinter-

füllungserde gefährdet werden. Für die Häfen an der Nordsee kommen in dieser Hinsicht naturgemäß nur Winde aus östlicher Richtung in Betracht. Wie Lentz ermittelt hat, entstehen die größten Senkungen weniger bei starken Oststürmen, sondern vielmehr bei mäßigem, aber lange anhaltendem OSO-Winde. So bewirkte z. B. im Februar 1870 ein drei Wochen lang wehender Ostwind, der anfangs mehr südlich, später mehr nördlich wurde, in Kuxhaven eine mittlere Senkung von Hoch- und Niedrigwasser von 1,97 m unter die berechnete Höhe.

In ähnlicher Weise bewirken auch an der Ostsee lange wehende, ablandige Winde bedeutende Senkungen an der einen Küste in Verbindung mit Anschwellungen an der gegenüberliegenden. Einen Überblick der Wasserstandsverhältnisse der Nordsee und der größten Anschwellungen und Senkungen einzelner Hafenorte gibt nachstehende Zusammenstellung.

Zusammenstellung von Wasserständen und Wasserstandsschwankungen an der Nordsee.

Beobachtungsort	Höhenlage des Pegelnullpunktes über NN.	Höhenlage des gewöhnlichen oder Mittel-Hochwassers über NN.	Höhenlage des gewöhnlichen oder Mittel-Niedrigwassers über NN.	Mittlerer Flutwechsel in m	Bisher beobachteter höchster Wasserstand über NN.	Bisher beobachteter höchster Wasserstand am	Bisher beobachteter niedrigster Wasserstand über NN.	Bisher beobachteter niedrigster Wasserstand am	Größte Erhebung über MHW.	Größte Senkung unter MNW.
Norden (Norddeicher Pegel)	+ 1,041	+ 1,041	− 1,259	2,30	+ 4,741	12./13. III. 1906	− 2,759	16. II. 1900	3,70	1,50
Emden (Nasserlander Pegel 1900 bis 1909)	+ 1,098	+ 1,26	− 1,770	3,03	+ 2,980	13. III. 1906	− 3,40	16. II. 1900	1,72	1,63
Wilhelmshaven.	− 2,637	+ 1,543	− 2,047	3,59	+ 5,083	13. III. 1906	− 4,347	16. II. 1900	3,54	2,30
					niedrigstes H. W.		höchstes N. W.			
					− 1,337	16. I. 1905	+ 2,433	23. XII. 1894		
Geestemünde . .	− 1,925	+ 1,405	− 1,925	3,33	+ 5,012	3./4. II. 1825	− 3,925	16. II. 1900	3,61	2,00
Kuxhaven	− 3,639	+ 1,141	− 1,649	2,79	+ 4,541	4. II. 1825	− 3,908	6. III. 1881	3,40	2,259
Hamburg	− 3,538	+ 1,542	− 0,278	1,82	− 5,202	4. II. 1825	− 2,553	17. I. 1905	3,66	2,275
Husum (Schleuse) . .	− 2,027	+ 1,240	− 2,060	3,30	+ 4,350	15. X. 1881	nicht beobachtet,		3,11	1,0—1,5
					(+ 5,01?	3./4. II. 1825) unsicher	etwa 1—1,5 unter MNW.		(3,77?)	
List auf Sylt . .	− 1,797	+ 0,510	− 1,100	1,61	+ 3,080 am Ellenbogenpegel	15. X. 1881	− 2,400	11. IV. 1902	2,57	1,30

Sturmwarnungen und Wetternachrichten. Für Hafenbauzwecke ebenso wie für die Schiffahrt ist das rechtzeitige Erkennen ungünstiger Witterung von großer Bedeutung, um rechtzeitig Anordnungen und Sicherungsmaßnahmen treffen zu können.

Für den aufmerksamen Beobachter bieten die in allen größeren Tageszeitungen enthaltenen Wetterberichte und besonders die durch eine kleine Karte dargestellte Übersicht der Wetterlage eine wertvolle Unterlage. Amtliche Wetternachrichten mit den gleichen Karten sind von der Deutschen Seewarte im Postabonnement zu erhalten und auch an vielen öffentlichen Plätzen

ausgehängt. Aus den Wetterkarten, auf deren nähere Beschreibung hier nicht eingegangen werden soll, da jede Karte die erforderlichen Erläuterungen enthält, kann an den Isobaren die Luftdruckverteilung, an den Windpfeilen die Richtung und Stärke des Windes an jedem Beobachtungsorte, ferner die Bewölkung, die Temperatur und die Art der Niederschläge leichter erkannt werden. Durch Vergleichung mehrerer Karten und Beachtung der Verschiebung der Tiefs und Hochs ist es unschwer, ein Bild von der zu erwartenden Änderung der Wetterlage zu gewinnen.

Für die Küsten vieler Kulturstaaten besteht außerdem noch ein besonders eingerichteter Sturmwarnungsdienst, indem von einem Hauptamt aus, an dem die von allen Beobachtungsorten einlaufenden Wettertelegramme bearbeitet werden, den an der Küste verteilten Sturmwarnungsstellen telegraphische Anweisungen über die zu gebenden Signale zugehen. Von diesen bedeutet:

● Atmosphärische Störung, siehe Telegramm, ▲ Sturm aus NW,

▼ Sturm aus SW, ▲ Sturm aus NO, ▼ Sturm aus SO

und ferner

Wind rechtsdrehend (N—O—S—W),

Wind zurückdrehend (N—W—S—O).

Bei Nacht werden alle Signale durch eine rote Laterne ersetzt. Über die Ausbildung der Sturmwarnungsstationen sind am Schlusse des zweiten Bandes unter den Seezeichen weitere Angaben zu finden.

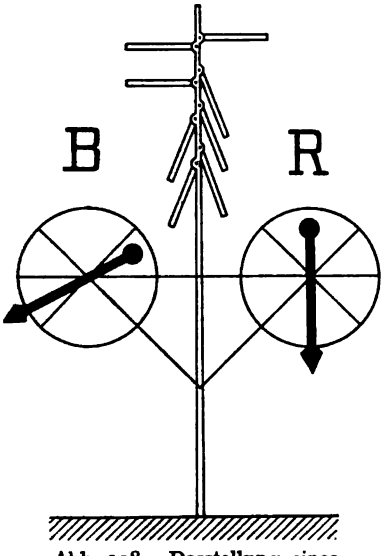


Abb. 108. Darstellung eines Semaphors.
B = Brüsterort. *R* = Rixhöft.

Für die Segelschiffahrt und Fischerei ist die jederzeitige Kenntnis der Windverhältnisse auf den benachbarten Küstenstrichen nach Richtung und Stärke von großer Bedeutung; diese wird ermittelt und auf größere Entfernungen sichtbar gemacht durch Windsemaphorstationen, deren Anordnung die nebenstehende Abb. 108 veranschaulicht.

Durch die Zeichen auf jeder Seite des Signalmastes werden, von See her gesehen, die Windverhältnisse der nach der gleichen Richtung belegenen Beobachtungsstelle angezeigt, und zwar bezeichnen die großen lateinischen Buchstaben den Anfangsbuchstaben des Beobachtungsortes, z. B. bei dem Semaphor in Memel *L* Libau und *B* Brüsterort, in Pillau, Schiewenhorst und Hela *B* Brüsterort und *R* Rixhöft und in Kuxhaven und am Hoheweg-Leuchtturm *H* Helgoland und *B* Borkum. Vor den großen Kreisen geben die Pfeile

die Windrichtung an, wobei die Pfeilspitze nach der Richtung zeigt, aus der der Wind kommt, während die wagerechten Arme je zwei Grade der Windstärken nach der Beaufortschen Skala anzeigen. Wächst die Windstärke über 8 hinaus, so treten die Zeichen für Sturm wie bei den Sturmwarnungsstationen an die Stelle der Arme. So bedeuten z. B. die durch Abb. 108 für den Semaphor in Pillau dargestellten Zeichen

in Brüsterort, Windrichtung WSW, Stärke 4
in Rixhöft, „ S , „ 2.

Die Semaphorstationen erhalten dreimal täglich die erforderlichen Angaben von den Beobachtungsstellen auf telegraphischem Wege.

Nebel. In engem Zusammenhange mit den klimatischen Verhältnissen einer Küste steht auch die für die Zugänglichkeit eines Hafens wichtige Frage der Nebelbildung und die dadurch veranlaßte Aufstellung von Nebelsignalen. In der Regel ist Nebel mit Windstille verbunden, da er in den meisten Fällen durch Abkühlung der über der Erdoberfläche oder über dem Meere lagernden, mit Wasserdampf gesättigten, ruhenden Luftschichten entsteht. An Küsten und auf hoher See bilden sich Nebel auch durch Temperaturunterschiede zwischen Wasser und Land, oder zwischen Meeresströmungen von sehr verschiedener Wärme, oder durch Luftströmungen, die viel wärmer oder viel kälter als die Wasseroberfläche sind; letztere können dann auch von starken Winden begleitet sein.[1])

Ein bekanntes und berüchtigtes Beispiel für Nebelbildungen bieten die Bänke von Neufundland, bei denen durch das Zusammentreffen des kalten Labradorstromes mit dem warmen Golfstrome die über letzterem liegende feuchte, warme Luft bei der Berührung mit dem kalten Wasser sich abkühlt und den Wasserdampf in Gestalt feiner Bläschen ausscheidet.

Von den deutschen Meeren ist nach den Darstellungen auf den sehr lehrreichen „Vierteljahrskarten für die Nordsee und Ostsee", herausgegeben von der deutschen Seewarte, die Ostsee am ausgedehntesten durch Nebel heimgesucht.

Besonders im Frühling sind auf der ganzen Ostsee 10 bis 20 vH. Nebeltage anzutreffen; nächstdem ist dann im Winter an der südlichen Küste bis Memel hin eine Nebelhäufigkeit von 20 bis 30 vH. festgestellt worden; geringer ist die Nebelbildung im Herbst und sehr selten sind Nebel in der südlichen Ostsee im Sommer.

In der Nordsee sind hauptsächlich die südlichen Teile in der Nähe der Küsten von der Nebelbildung heimgesucht; am stärksten, bis 30 vH. treten die Nebel an der belgischen, holländischen und deutschen Küste im Winter, etwas weniger im Frühling und Herbst und am geringsten im Sommer auf, wo nur der englische Kanal über 10 vH. Nebeltage aufweist.

Eisverhältnisse. Für die Bedeutung eines Hafens spielen die Eisverhältnisse eine große Rolle. Während in den wärmeren Häfen der Verkehr das ganze Jahr über ungehindert vor sich gehen kann, tritt bei den in den gemäßigteren und nördlichen Gebieten gelegenen Häfen im Winter eine große Behinderung oder auch gänzliche Sperrung der Schiffahrt ein.

[1]) Vergl. a. Hann, Lehrbuch der Meteorologie, Leipzig 1906, S. 195 u. f.

Naturgemäß haben diejenigen Häfen am meisten unter der Eisbildung zu leiden, die an abgeschlossenen Meeren mit verhältnismäßig ruhigem Wasserspiegel liegen. Demzufolge ist die Eisbehinderung für die Schiffahrt an der Ostsee stärker als an der von Ebbe und Flut bewegten Nordsee, in der sich der wärmende Einfluß des Golfstromes zudem nützlich bemerkbar macht.

An der Ostsee wiederum ist die Eisbildung in den abgeschlossenen Buchten am stärksten; so frieren die Haffe, das Stettiner, das Frische und das Kurische, fast regelmäßig fest zu; sie würden die Schiffahrt nach dem Stettiner und Königsberger Hafen ganz sperren, wenn nicht durch Eisbrecher künstlich hinreichend breite Fahrrinnen offengehalten würden. Auf dem Stettiner Haff tritt trotzdem bisweilen eine starke Behinderung oder gar Sperrung der Schiffahrt ein, wenn das Haffeis durch Sturm gebrochen und unter dem Einfluß starken Windes verschoben wird, so daß die Fahrrinne unmittelbar nach dem Durchgang der Eisbrecher wieder geschlossen wird, und die nachfolgenden Schiffe starken, gefährlichen Pressungen ausgesetzt sind.

Im Königsberger Seekanal sind durch die den Kanal begleitenden Dämme für den größten Teil der Strecke günstigere Verhältnisse geschaffen worden.

Günstiger liegen die Verhältnisse für die an den Seetiefs der Haffe oder an Flußmündungen belegenen Häfen. So wird in Swinemünde, Pillau und Memel das Eis durch den ausgehenden Strom in steter Bewegung gehalten; eine Behinderung der Schiffahrt tritt dort nur ein, wenn anhaltende auflandige Winde das Eis in den Hafen treiben. Ähnlich günstige Eisverhältnisse weisen auch die an Flußmündungen gelegenen hinterpommerschen Häfen Kolberg und Stolpmünde auf, bei denen der in See setzende Strom sowohl die Eisbildung erschwert, als auch das gebildete Eis in die See abführt.

An der Nordseeküste sind die Häfen wesentlich günstiger gestellt, da einerseits das Wasser eine höhere Temperatur besitzt, anderseits durch Ebbe und Flut in lebhafter Bewegung erhalten wird. Infolgedessen bleibt das an den Küsten und in den Flußmündungen entstandene Eis im Treiben und wird durch den Ebbestrom in See abgeführt. Ungünstig können aber auch hier die Eisverhältnisse werden, wenn nordwestliche bis nördliche Winde die Eisschollen in die Flußmündungen hineintreiben und Eisstauungen erzeugen.

Am stärksten treten die Eisbehinderungen in der Nordsee auch in den östlich gelegenen Teilen, besonders in der Elbe auf; durch Eisbrecher gelingt es jedoch stets, Eisstauungen zu beseitigen und das Eis in Bewegung zu erhalten. In schwächerem Maße verursachen die Eisverhältnisse an der Weser Schwierigkeiten. Im ganzen genommen gelten die deutschen Nordseehäfen als eisfreie, der Schiffahrt das ganze Jahr über zugängliche Häfen; ebenso steht es aber auch in neuerer Zeit mit den größeren Ostseehäfen, nur sind diese mehr auf künstliche Hilfe durch Eisbrecher angewiesen.

Auf die Eisansammlung an den Küsten und vor den Hafeneinfahrten haben die Windverhältnisse einen großen Einfluß. Es kommt vor, daß bei lange anhaltenden, auflandigen Winden die Küste von einem breiten Eisschollengürtel besäumt ist, und daß bei ruhigem Wetter durch Zusammenfrieren große Eisfelder entstehen; mit dem Umspringen des Windes verschwindet aber auch das ganze Eis oft ebenso plötzlich, wie es gekommen ist. Derartige

vom Winde in die See getriebene Eisfelder von mächtiger Ausdehnung bereiten bisweilen auf der Ostsee auch größeren Dampfern große Schwierigkeiten.

Einen Überblick über die Eisverhältnisse einiger Hauptorte der Ostsee gibt nachstehende, den bereits erwähnten, von der deutschen Seewarte herausgegebenen Vierteljahrskarten für die Nordsee und Ostsee entnommene Zusammenstellung.

Eisverhältnisse einiger Hauptorte der Ostsee.

Nr.	Ort	Mittlere Zeit des Zufrierens	Mittlere Zeit des Aufgangs
1	Sund	Schiffahrt zuweilen gar nicht behindert	
2	Travemünde	frühestens am 10. Januar	spätestens bis Anfang April
		Fahrrinne wird gewöhnlich durch Eisbrecher offen gehalten, sonst	
		frühestens am 14. Januar	spätestens bis 26. März
3	Stettin	Fahrrinne wird gewöhnlich durch Eisbrecher offen gehalten	
4	Neufahrwasser	wie vor	
5	Danzig	wie vor	
6	Pillau	erstes Treibeis im Tief: frühestens 20. November, spätestens 24. Januar	letztes Treibeis im Tief: frühestens 11. Januar, spätestens 23. April
		Schiffahrt nach Königsberg durch Eisbrecher ermöglicht	
7	Memel	frühestens am 1. Januar	spätestens bis 31. März
8	Libau	Schiffahrt mit wenigen Ausnahmen das ganze Jahr hindurch möglich	
9	Windau, Fluß Windau	11. Dezember	28. März
		(für Dampfer mit wenigen Ausnahmen das ganze Jahr offen)	
10	Riga, Düna	29. November	7. April
11	Helsingfors, Hafen	5. Dezember	2. Mai
12	Kronstadt, Finnischer Meerbusen	21. November (frühestens Mitte Oktober, spätestens 12. Dezember)	3. Mai erstes Schiff: früh. 20. April, spät. 20. Mai
13	Petersburg, Newa	25. November (frühestens 3. November, spätestens 20. Dezember)	21. April

4. Strömungen.

Allgemeines und Bezeichnungen. Von nicht zu vernachlässigender Bedeutung sind für alle Bauten am Meere und besonders auch für die äußeren Bauteile der Seehäfen die im Meereswasser auftretenden Strömungen. Durch die Einwirkung der Sonne auf die Erwärmung des Wassers in verschiedenen geographischen Breiten entstehen Ungleichheiten in der Dichte des Wassers, durch verschieden starke Verdunstung ferner Unterschiede im Salzgehalt und in den spezifischen Gewichten einiger Meeresteile.

Zu den durch diese Ursachen hervorgerufenen Gleichgewichtsstörungen treten die gewaltigen, bis in große Tiefen fühlbaren Bewegungen durch Flut

und Ebbe, ferner die gleichfalls durch die Sonnenwärme verursachten Unregelmäßigkeiten in der Verteilung des Luftdrucks und die Einflüsse des Windes auf die Oberfläche.

Alle diese Erscheinungen verursachen ständige Ausgleichsbewegungen in Form von wagerechten und lotrechten Verschiebungen der Wassermassen, die Strömungen genannt werden. Für die dabei auftretenden Wasserbewegungen gelten die gleichen Ablenkungserscheinungen wie bei den Winden (siehe vorigen Abschnitt); doch bewirken stark und ständig auftretende Luftströmungen auch Abweichungen von der Regel.

Vorweg sei bemerkt, daß eine Strömung nach der Kompaßrichtung bezeichnet wird, nach der sie hingeht, im Gegensatz zu den Bezeichnungen der Winde, die nach der Richtung, aus der sie kommen, genannt werden. Ein Westwind kommt aus Westen, eine westliche Strömung oder ein Weststrom geht nach Westen.

Strömungen infolge ungleicher Erwärmung des Wassers bezw. infolge verschiedenen spezifischen Gewichts. Von den in den großen Meeren auftretenden Strömungen ist der mächtigste und bekannteste der Golfstrom.

Hervorgerufen durch die in der heißen Zone am Äquator stark erwärmten und durch die Passatwinde in den sogenannten Äquatorialströmen westwärts getriebenen und im Golf von Mexiko angehäuften Wassermassen nimmt er als warme Strömung im mexikanischen Meerbusen seinen Ausgang, zieht an der Ostküste Amerikas bis Neufundland entlang und wendet sich von hier aus östlich nach der Westküste Europas und in einem südöstlich gerichteten, den Kreislauf mit dem Äquatorialstrom schließenden Teile nach den Azoren. Seinem wärmenden Einfluß verdankt die Westküste Europas das im Vergleich mit der amerikanischen Küste gleicher Breite auffallend milde Klima. Zur Zeit der Segelschiffahrt und vielfach auch heute noch ist die Richtung und Lage des Golfstromes bestimmend für die Festsetzung der Schiffswege.

Auf eine nähere Beschreibung dieses mächtigsten unter den bekannten Meeresströmen muß hier verzichtet werden, es sei aber darauf hingewiesen, daß er seine Entstehung der starken Erwärmung und dem dadurch bedingten Aufsteigen des Wassers am Äquator verdankt und daß seine östliche Richtung aus der bekannten Ablenkungsregel (für nordwärts gerichtete Ströme auf der nördlichen Halbkugel nach rechts, d. h. nach Osten) zu erklären ist.

Ähnliche warme Strömungen sind auch in den anderen großen Meeren festgestellt worden. Von den bekannten, den Ausgleich für die vom Äquator abströmenden Wassermassen herbeiführenden, von den Polen nach dem Äquator gerichteten kalten Strömungen ist die bedeutendste der Labradorstrom, der, von der Ostküste Grönlands ausgehend, südwestliche Richtung annimmt und an der Bank von Neufundland den Golfstrom kreuzt (vergl. die Bemerkung auf S. 178 über die Nebelbildung an dieser Stelle).

Auch in abgeschlossenen, sich über größere Breiten ausdehnenden Meeren treten aus den gleichen Ursachen ähnliche, wenn auch erheblich schwächere Strömungen auf. So weist z. B. Hagen darauf hin, daß die Ostsee bei ihrer Ausdehnung vom 54. bis zum 66. Breitengrade bedeutende Wärmeunterschiede

an ihren beiden nördlichen und südlichen Endpunkten besitzt und daß dadurch eine südliche kalte und eine nördliche warme Strömung entstehen muß. Da erstere von Gegenden geringerer Umdrehungsgeschwindigkeit in solche größerer gelangt, erfährt sie eine westliche Ablenkung und streicht an der schwedischen Küste entlang, während die warme, nordwärts gerichtete Strömung aus dem entgegengesetzten Grunde nach Osten abgelenkt wird und sich als östliche Strömung an der pommerschen Küste und als nördliche vor Pillau und Memel bemerkbar macht.

In den abgeschlossenen Meeren treten aber auch noch aus anderer Ursache Strömungen auf. Liegen sie, wie z. B. das Mittelmeer, in warmen Gegenden, so wächst durch die lebhafte Verdunstung der Salzgehalt des Wassers und damit sein spezifisches Gewicht; die schwereren Schichten sinken nach unten, strömen an den Verbindungssellen mit den großen Meeren in der Tiefe nach diesen ab und verursachen dadurch an der Oberfläche einen Einstrom salzärmeren, spezifisch leichteren Wassers.

Auf diese Weise erklärt sich im Mittelländischen Meer der in der Meerenge von Gibraltar an der Oberfläche vorhandene, an der Nordküste Afrikas entlanglaufende starke Einstrom aus dem Atlantischen Ozean und der in der Tiefe und an den Ufern festgestellte Ausstrom. Aus dem gleichen Grunde erhält das Rote Meer durch die Straße von Bab el Mandeb an der Oberfläche einen ständigen Zufluß aus dem Indischen Ozean.

Die umgekehrte Erscheinung wird an der Ostsee beobachtet. Infolge der großen Zahl der in sie einmündenden Süßwasserströme ist ihr Salzgehalt geringer als der der benachbarten Nordsee. Daher kann, wenn andere Ursachen nicht stärker wirken, am Grunde der verbindenden Meeresarme (Sund, Große und Kleine Belt) ein Einstrom schwereren Nordseewassers beobachtet werden, während an der Oberfläche süßeres Wasser nach der Nordsee abströmt.

Strömungen infolge von Flut und Ebbe. Durch die mit den Flutwellen verbundenen Schwingungsbewegungen des Wassers werden Strömungen hervorgerufen zum Ersatz des an den Anschwellungen angehäuften Wassers. Diese Tideströmungen genannten Bewegungen des Wassers erstrecken sich über die ganze Tiefe des Meeres, sie heißen Flutströmungen, wenn sie sich im Sinne der Fortpflanzungsrichtung der Flutwellen bewegen, und Ebbeströmungen im umgekehrten Falle. Sie sind weniger fühlbar bei großen Tiefen und werden um so stärker, je flacher das Wasser ist. Ihre Geschwindigkeit ist als Schwingungsbewegung unabhängig vom Gefälle und theoretisch bei Hoch- bezw. Niedrigwasser am größten; die Umkehr der Bewegung erfolgt zu halber Tide. An den Küsten, besonders in Meeresbuchten und in Flußmündungen, verschieben sich jedoch diese Zeitpunkte, indem z. B. eine kleine Bucht oder eine Flußmündung sich so lange füllt, als das Meer steigt, und umgekehrt sich so lange entleert, als das Meer sinkt. Infolgedessen ist dort während des ganzen Steigens Flutstrom und während des Fallens Ebbestrom; dabei nimmt die nun vom Gefälle abhängige Wasserbewegung die Formen strömenden Wassers an. Die Umkehr der Strömung erfolgt annähernd bei Hoch- und Niedrigwasser (vergl. hierzu die Ausführungen

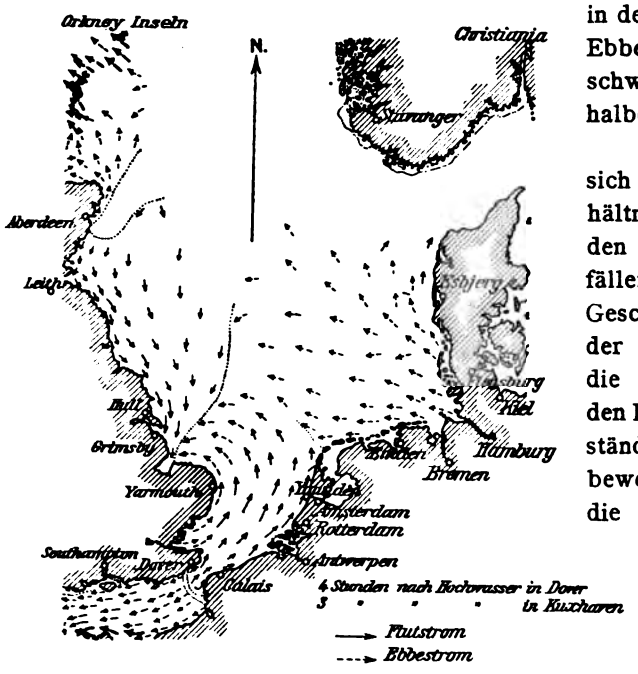


Abb. 109. Tideströmungen in der Nordsee drei Stunden nach Hochwasser in Kuxhaven.

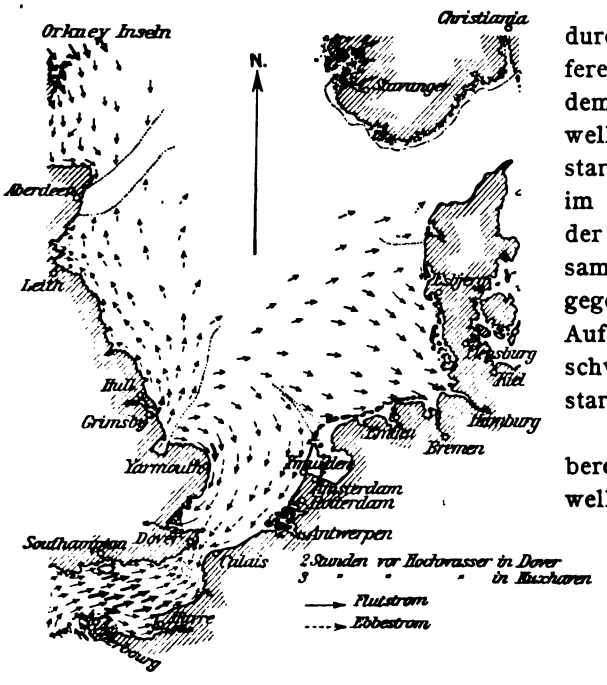


Abb. 110. Tideströmungen in der Nordsee drei Stunden vor Hochwasser in Kuxhaven.

in dem Abschnitt über Flut und Ebbe) und die größten Geschwindigkeiten liegen zu den halben Tiden.

An den Küsten werden sich je nach den örtlichen Verhältnissen Mittelstufen zwischen den eben beschriebenen Grenzfällen ausbilden; die größten Geschwindigkeiten werden sich der halben Tide nähern und die Umkehr der Strömungen den Hoch- bezw. Niedrigwasserständen; dabei wird die Wasserbewegung mehr und mehr in die des unter dem Einfluß des Gefälles strömenden Wassers übergehen. Besonders verwickelt und unregelmäßig werden die Strömungen, wenn die Flutwelle von verschiedenen Seiten in einen Meeresarm eintreten kann; durch die dann eintretenden Interferenzerscheinungen kann z. B. bei dem Zusammentreffen von Flutwellen gleicher Amplitude eine starke Erhöhung der Wasserstände im Verein mit einer Aufhebung der Strömung und bei dem Zusammentreffen von Wellen entgegengesetzter Amplitude eine Aufhebung der Wasserstandsschwankungen, verbunden mit starker Strömung, sich ausbilden.

In der Nordsee treffen, wie bereits früher erwähnt, zwei Flutwellen zusammen, von denen die durch den Kanal einlaufende hauptsächlich die Küsten des Festlandes und die um Schottland herumlaufende die östliche englische Küste beeinflußt. Ihr Zusammentreffen in ungleichem Schwin-

gungszustande verursacht die geringe Fluterhebung an der holländischen Küste. Von diesen beiden Wellen hängen die in der Nordsee maßgebenden Strömungen ab, deren Richtung und Stärke sich mit dem Fortschreiten der Flutwellen jederzeit ändert. Eine Vorstellung der Verteilung und Richtung der Strömungen geben die beiden, den bereits erwähnten Vierteljahrskarten der deutschen Seewarte entnommenen Kärtchen (Abb. 109 u. 110). Von diesen stellt das eine den Zustand 3 Stunden vor Hochwasser in Kuxhaven (gleichzeitig 2 Stunden vor Hochwasser in Dover) und das andere den Zustand 3 Stunden nach Hochwasser in Kuxhaven (oder 4 Stunden nach Hochwasser in Dover) dar. Ein Vergleich beider Karten zeigt deutlich, wie auf den gleichen Gebieten zu den beiden Zeitpunkten völlig entgegengesetzte Strömungen herrschen. Aus der Stärke der die Strömungen bezeichnenden Pfeile ist ferner ihre Geschwindigkeit zu entnehmen, die bis zu 5 Seemeilen in der Stunde und mehr anwächst. Durch die punktierten Linien werden die mit den Stromgrenzen zusammenfallenden Stauwasser- oder Kentergebiete bezeichnet; ihre Entfernung entspricht einem Viertel der Flutwellenlänge.

Aus den für jede Stunde dargestellten zwölf Strömungskarten können die zu jeder Zeit in der Nordsee bei regelmäßigen Verhältnissen vorhandenen Strömungen ersehen werden.

Windströmungen und Küstenströme. Wie bereits hervorgehoben wurde, entstehen durch den Einfluß des Windes starke Strömungen, von denen der zur Bildung des Golfstromes Veranlassung gebende, nördliche Äquatorialstrom bereits genannt wurde. Die durch den Wind hervorgerufenen Strömungen sind naturgemäß hauptsächlich Oberflächenströmungen. Für sie gilt die Regel, daß sie im allgemeinen mit dem Winde laufen, wenn nicht unregelmäßige Küstenlinien, enge Stellen ihnen eine andere, manchmal auch gegen den Wind laufende Richtung aufzwingen.

In der Ostsee, wo der Einfluß von Flut und Ebbe ein verschwindend geringer ist, sind es die vom Winde hervorgerufenen Strömungen, deren Einfluß neben den schwächeren, durch Wärmeunterschiede veranlaßten, bei Ufer- und Hafenbauten zu berücksichtigen ist.

Im Kattegat, Sund und in der westlichen Ostsee ist durch eingehende Untersuchungen festgestellt, daß in der Regel starke westliche Winde das Oberflächenwasser von der Nordsee nach der Ostsee treiben, während umgekehrt östliche Winde eine nach der Nordsee ausgehende Strömung hervorrufen. Doch können auch hier Ausnahmen eintreten, wenn z. B. unter dem Einfluß starker Weststürme im östlichen Teil der Nordsee hohe Anschwellungen und im westlichen Teil der Ostsee starke Senkungen eingetreten sind, so daß große Wassermengen aus der Nordsee in die Ostsee eindringen.

Lassen dann die westlichen Winde an Stärke nach, so können sie den Aufstau des Wassers nach der östlichen Ostsee nicht mehr halten der Ostseespiegel pendelt zurück und es findet trotz westlicher Winde ein Ausstrom nach der Nordsee statt; dieser ist besonders stark, wenn nördliche und östliche Winde in der östlichen Ostsee der nach Westen gerichteten Wasserbewegung Nachdruck verleihen.

Auch der umgekehrte Fall ist denkbar und wahrscheinlich. Die durch den Wind hervorgerufenen Strömungen machen sich an der deutschen Ostseeküste als sogenannte Küstenströme besonders fühlbar.

Durch die eingehenden Untersuchungen von Baensch[1]) ist nachgewiesen, daß ihre Richtung in engem Zusammenhange mit der Windrichtung steht; naturgemäß spielt auch die Richtung der Küste bei der Ermittlung der die Küstenströme beeinflussenden Windrichtungen eine maßgebende Rolle.

Über die Abhängigkeit des Küstenstromes von den jeweiligen Windrichtungen gewinnt man einen klaren Überblick aus der durch Abb. 111 gegebenen, aus den Baenschschen Untersuchungen für Kolbergermünde abgeleiteten

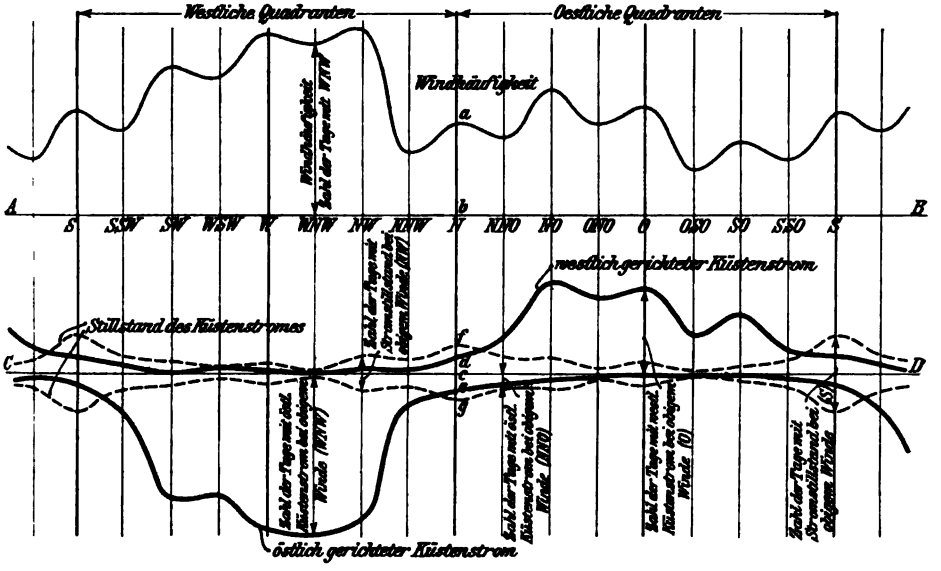


Abb. 111. Abhängigkeit der Richtung der Küstenströme von der jeweiligen Windrichtung.

zeichnerischen Darstellung. In derselben sind im oberen Teil die für die Jahre 1868 bis 1870 in jeder Windrichtung beobachteten Windhäufigkeiten von einer Grundlinie *A—B* als Ordinaten nach oben aufgetragen und die Endpunkte dieser Linien durch einen Kurvenzug verbunden worden. Auf einer zweiten gleichlaufenden Grundlinie *C—D* sind auf den gleichen Ordinaten in dem gleichen Maßstabe Strecken abgesetzt worden, die den bei der gleichen Windrichtung gemachten Küstenstrombeobachtungen entsprechen, und zwar ist die Zahl der Tage mit nach Westen gerichteter Strömung von der Linie *C—D* nach oben, die Zahl der Tage mit nach Osten gerichteter Strömung nach unten und endlich die Zahl der Tage des Stromstillstandes von *C—D* aus nach oben und unten zur Hälfte aufgetragen worden. Es bedeutet z. B. auf der durch *N* (Nordrichtung) gehenden Ordinate

die Strecke *ab* die Zahl der Tage des Beobachtungszeitraumes mit Nordwind,

[1]) Baensch, Studien aus dem Gebiete der Ostsee, Zeitschrift für Bauwesen 1872.

die Strecke *cd* die Zahl der Tage des Beobachtungszeitraumes mit westlich gerichteter Küstenströmung,

die Strecke *ce* die Zahl der Tage des Beobachtungszeitraumes mit östlich gerichteter Küstenströmung,

die Strecke *fg* die Zahl der Tage des Beobachtungszeitraumes mit Stromstillstand.

Aus dem Verlauf der die Endpunkte gleichartiger Ordinaten verbindenden Kurven läßt sich nun die Abhängigkeit der Stromrichtung von der Windrichtung leicht ablesen. Man sieht, daß zur Zeit der Winde aus den beiden westlichen Quadranten am häufigsten östlicher Küstenstrom und zur Zeit der Winde aus den beiden östlichen Quadranten westlicher Küstenstrom beobachtet wurde. Ferner zeigt die Darstellung, daß bei Winden aus W bis NW die östliche Strömung am häufigsten und bei Winden aus NO bis O die westliche Stömung am häufigsten eintrat, und daß ferner mit dem Vorherrschen von Winden aus den westlichen Quadranten auch das Überwiegen nach Osten gehenden Stromes verbunden war.

Da ferner die Küste bei Kolbergermünde annähernd von Westen nach Osten verläuft (genauer von WzS ½ WSW nach OzN ½ ONO), so ist ersichtlich, daß mit der Küste annähernd gleichlaufende Winde am häufigsten in gleicher Richtung gehende Strömungen erzeugt haben.

Außerdem zeigen die gestrichelten, die Tage des Stromstillstandes verbindenden Linien, daß ein Stromstillstand am häufigsten mit Südwinden, also mit annähernd senkrecht zur Küste vom Lande her wehenden Winden, und dann wieder mit Nordwinden, also von See her annähernd senkrecht zur Küste wehenden Winden, verbunden war. Bei den dazwischen liegenden Windrichtungen ist Stromstillstand in erheblich geringerem Umfange beobachtet worden.

Aus vorstehendem erhellt demnach einwandfrei die Abhängigkeit der Richtung des Küstenstroms von der Richtung des Windes zur Küstenlinie.

Damit stimmt auch die von Baensch erwähnte Tatsache überein, daß an der annähernd von Nord nach Süd verlaufenden Westküste der Insel Hiddensee Winde aus dem nordwestlichen Viertel eine südliche Strömung, aus dem südwestlichen Viertel eine nördliche Strömung und Winde aus rein westlicher Richtung am leichtesten Stromstillstand hervorrufen. Ferner bewegt sich der Küstenstrom bei Arkona bei starkem Nordostwind sowohl am Nordrand der Halbinsel Wittow von Osten nach Westen, als auch im Inneren der Tromper Wiek nach dem Dorfe Vitte zu, so daß das Kap Arkona einen Trennungspunkt des Küstenstromes bildet.

Einer Erklärung bedarf es noch, daß auch, wie Abb. 111 zeigt, Beobachtungen mit dem Winde entgegenlaufenden Strömungen, wenn auch nur in geringer Anzahl, vorhanden sind. Diese Tatsache dürfte daher rühren, daß bisweilen schon der Küstenstrom seine Richtung ändert, ehe der ihn beeinflussende Wind die betreffende Küstenstrecke erreicht hat, oder daß z. B. nach stark anhaltenden Westwinden, wenn diese an Stärke nachlassen, das nach Osten

gedrängte Wasser einen mäßigen Rückstrom zum Ausgleich der Wasserstandsunterschiede erzeugt.

Aus der Betrachtung der Abb. 111 erkennt man ferner das bedeutende Überwiegen der Westwinde und des damit zusammenhängenden östlichen Küstenstroms an der hinterpommerschen Küste, dem naturgemäß die Verschiebung der Sandmassen des Strandes entsprechen muß, indem der weniger häufige westliche Strom eine gleichwertige Zurückbeförderung der nach Osten verschobenen Massen nicht zu bewirken vermag. Ein Beleg für diese Tatsache dürfte auch in der stärkeren Sandablagerung an den Westmolen der pommerschen Häfen und dem Vorrücken der Ufer an dieser Seite zu finden sein, wenn auch die größere Stärke der Oststürme hierbei nicht unwesentlich mitwirkt.

Der Einwirkung des Küstenstroms verdankt die Sandküste der Ostsee ihre gleichmäßige glatte Gestaltung; sie ist die Veranlassung zu den mehrfachen Nehrungsbildungen und der Abschnürung von früheren Meeresbuchten, worauf hier jedoch nicht näher eingegangen werden soll. Bezüglich der früher erwähnten, durch die Wärmeunterschiede des Ostseewassers veranlaßten Strömung ist die Annahme gerechtfertigt, daß sie eine mehr untergeordnete Rolle spielt.

Über die Geschwindigkeit des Küstenstroms sind genaue Messungen wenig vorliegend, doch sind Geschwindigkeiten bis zu 1 m/Sek. und mehr schon beobachtet worden.

Die Geschwindigkeit ist am stärksten in der Nähe des Ufers und nimmt besonders an Größe zu, wenn z. B. in die See vorgeschobene Hafendämme seine Bewegung am Ufer hemmen und nach See zu ablenken.

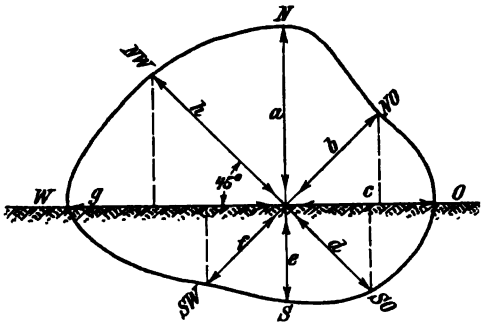


Abb. 112. Ermittelung der vorherrschenden Richtung des Küstenstromes.

Will man aus den Windbeobachtungen an einer Küste die für die Veränderung des Ufers maßgebende Stromrichtung feststellen, so kann man in der Weise vorgehen, daß man auf den Strahlen einer Windrose Produkte aus Windhäufigkeit und mittlerer Geschwindigkeit oder besser der Quadrate derselben (a, b, c, d, e, f, g auf Abb. 112) aufträgt und die erhaltenen Strecken auf eine zur Küste gleichlaufende Achse projiziert; bildet man dann die Summen der Komponenten links und rechts von der Achse senkrecht zur Küste, so erhält man in dem größeren Wert die Richtung der maßgebenden Winde. Nach Abb. 112 ist z. B.

$$g + (h + f)\cos 45° > c + (b + d)\cos 45°,$$

mithin an der von Westen nach Osten gerichteten Küste der Westwind vorherrschend und dementsprechend östliche Strömung überwiegend.

In den vom Winde hervorgerufenen Küstenströmungen sind, wie aus ihrer Entstehung hervorgeht, nicht ständige, sondern periodische Strömungen zu er-

blicken, die je nach der Windrichtung Richtung und Stärke ändern. Ähnliche Erscheinungen treten auch in anderen Meeren auf und besonders dort, wo periodische Winde vorherrschen, wie z. B. in den Monsumgegenden im Indischen Ozean. Deutliche Einflüsse eines Küstenstroms zeigen auch die Nehrungsbildungen an der venetianischen Seite des Adriatischen Meeres.

Es ist einleuchtend, daß man es bei den Küstenströmen ausschließlich mit Oberflächenströmen zu tun hat, im Gegensatz zu den durch Wärmeunterschieden hervorgerufenen.

Erwähnt werden mag ferner noch, daß auch bei den im vorigen Abschnitt beschriebenen Tideströmungen durch die Mitwirkung der Küstenströme besonders kräftige Einwirkungen auf die Ufer entstehen, wenn eine der Tideströmungen mit der herrschenden Windrichtung zusammenfällt und die vom Winde erzeugte Küstenströmung unterstützt, wie es z. B. bei den nordfriesischen Inseln mit dem Flutstrom und den herrschenden Westwinden der Fall ist.

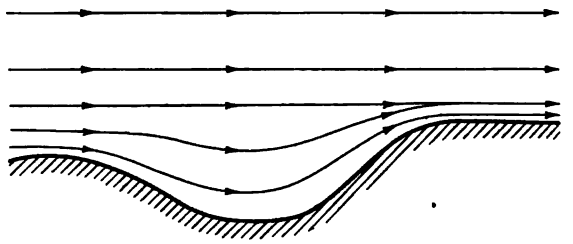


Abb. 113. Ausbreitung einer Strömung in flacher Bucht.

Örtliche Strömungen. Örtliche Strömungen entstehen zunächst durch Unregelmäßigkeiten in der Ufergestaltung und der Wassertiefe; sie machen sich als Rückströme, Wirbel und Gegenströmungen bemerkbar, Umstände, die bei der Anlage von Hafenmolen, wie späterhin weiter ausgeführt werden wird, wohl zu beachten sind.

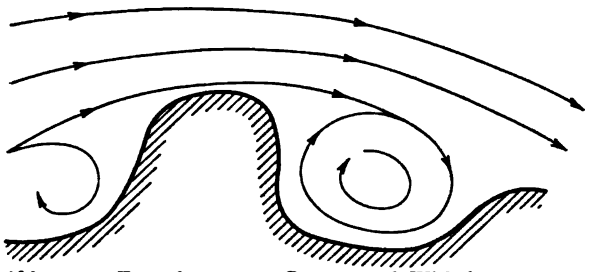


Abb. 114. Entstehung von Gegen- und Wirbelströmungen in tiefer Bucht.

So wird eine vor der Öffnung einer Bucht vorbeigehende Strömung je nach der Gestalt derselben sich darin ausbreiten (Abb. 113) oder eine Gegen- oder Wirbelströmung hervorrufen (Abb. 114).

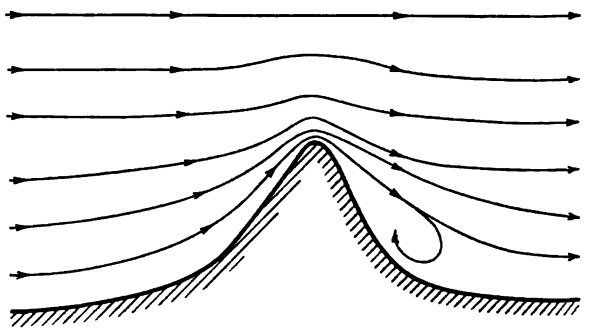


Abb. 115. Verhalten einer Strömung an einem Ufervorsprung.

Vorspringende Ufer oder künstliche Einbauten erzeugen Ablenkungen der Strömung und Stromverstärkungen an der Spitze des Vorsprungs (Abb. 115) oder auch, je nach ihrer Gestalt und ihrer Neigung zum Ufer, Abspaltungen und

Rückströmungen (Abb. 116). Die Stromverstärkung macht sich für aus- und eingehende Schiffe besonders unangenehm an den Molenköpfen fühlbar und nimmt dort oft die doppelte der sonst an der Küste vorhandenen Geschwindigkeit an.

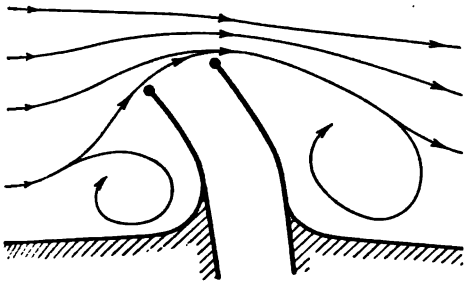


Abb. 116. Abspaltungen und Rückströmungen an einem Ufervorsprung.

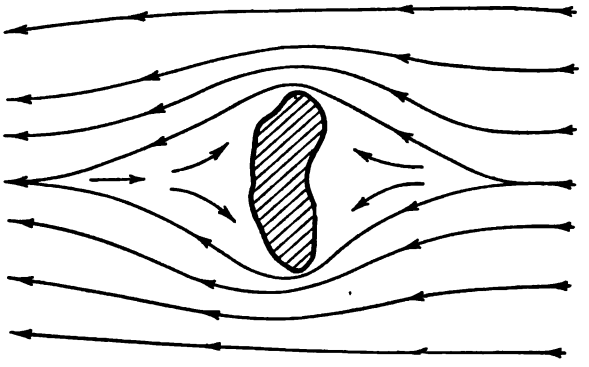


Abb. 117. Strömungen an und hinter einer Insel.

Hinter Inseln bilden sich ebenfalls, je nach ihrer Gestalt, Rückströmungen aus (Abb. 117).

An Stellen, wo der Grund stark ansteigt, nimmt ebenso wie bei Ufervorsprüngen, infolge Zusammendrängung der Stromfäden, die Geschwindigkeit einer Strömung stark zu.

Bezüglich der durch den Wind erzeugten Oberflächenströme sei auch noch darauf hingewiesen, daß, wenn eine schon längere Zeit anhaltende Strömung durch entgegengesetzten Wind umgekehrt wird, dies zuerst an der Oberfläche geschieht, während in den größeren Tiefen die bisherige Strömung eine Zeitlang noch anhält, so daß zwei übereinanderliegende Strömungen entgegengesetzter Richtung entstehen. Dasselbe tritt auch ein, wenn der Wind das Wasser in einer Bucht anhäuft; am Ende der Bucht ist der Wasserspiegel höher als am Eingang; infolgedessen entsteht ein nach dem Eingang der Bucht zu gerichteter Rückstrom, der sich am Grunde bewegen muß, da an der Oberfläche der entgegenwirkende Wind die Rückströmung verhindert.

Starke örtliche Ströme entstehen ferner an den Seetiefs der Haffe, wenn auflandiger Wind den Seespiegel sowohl erhöht, als auch den Wasserspiegel der Haffe nach der rückwärtigen Landseite fortdrängt. Dabei füllen sich die Haffe aus der See an und es herrscht eingehender Strom. Mit dem Nachlassen des Windes kehrt sich der Strom in ausgehenden Strom um und die eingedrungenen Wassermassen fließen wieder in die See zurück. An den Seetiefs bei Memel und Pillau, ferner an der Mündung der Swine, Peene und Dievenow spielt der durch derartige Umstände hervorgerufene starke Ausstrom zur Offenhaltung der Tiefs eine sehr wichtige Rolle, seine Wirkung wird durch Einfassung und Zusammenhaltung mit Molen noch bedeutend erhöht. Im allgemeinen verursachen zwar auch die in die Haffe einmündenden Flüsse in den Seetiefs ständig ausgehende Strömungen, doch spielen diese nur zu Hochwasserzeiten eine erhebliche Rolle; die nach starkem Aufstau ausgehenden Wassermassen sind im allgemeinen vielmal größer und in ihrer Wirkung maßgebender als die dauernd ausgehenden

Mittelwassermengen der Flüsse. Daß die in ein Haff strömenden Hochwassermengen auch einen starken ausgehenden Strom und eine bedeutende Vertiefung des Seegatts bewirken können, beweist das nachstehende im Frühjahr 1855 bei Pillau eingetretene Ereignis.[1]) Nachdem infolge einer Eisversetzung in der Weichsel die Weichseldeiche bei Groß-Montau und Clossowo gebrochen waren, ergoß sich die gesamte Weichselhochwassermenge in die Niederung, dann weiter durch die Nogat in das Frische Haff und zuletzt durch das Pillauer Tief in die Ostsee. Hierbei entstand eine so starke Strömung, daß die Tiefe des Seegatt von 4,5 m auf 7,5 m vergrößert wurde, eine Wirkung, die bis dahin durch Baggerungen und Molenbauten nicht hatte erreicht werden können.

Der in der Swinemündung ausgehende Strom erreicht oft Werte bis zu 2,6 m/Sek., während der eingehende nicht ganz so stark wird.

Eine lehrreiche örtliche Strömung wird ferner an der Spitze der Halbinsel Hela beobachtet. Dort verursacht starker westlicher Wind einmal an der Ostseeküste der Halbinsel einen starken östlichen Küstenstrom, außerdem aber treibt er das Wasser aus der Danziger Bucht heraus und ruft eine starke Senkung des Wasserspiegels an der Nordwestecke der Bucht und damit auch an der Innenseite der Halbinsel Hela hervor. Zum Ausgleich entsteht infolgedessen um die Spitze der Halbinsel Hela herum, also dem Winde entgegengerichtet, ein starker Küstenstrom, der schon bei geringer Windstärke bemerkbar ist (Abb. 118). Infolge dieser Erscheinung findet keine Verlängerung der Halbinsel statt und erhalten sich dauernd am Kopfe bedeutende Tiefen.

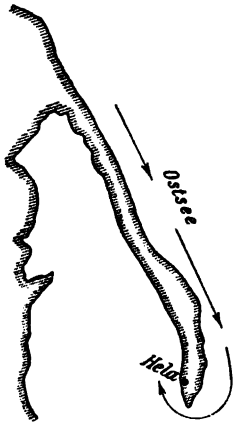


Abb. 118. Strömungen an der Halbinsel Hela.

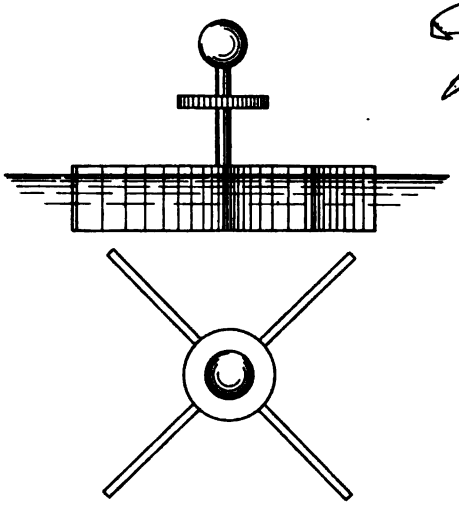


Abb. 119. Schwimmer zur Beobachtung von Strömungen nach Hagen.

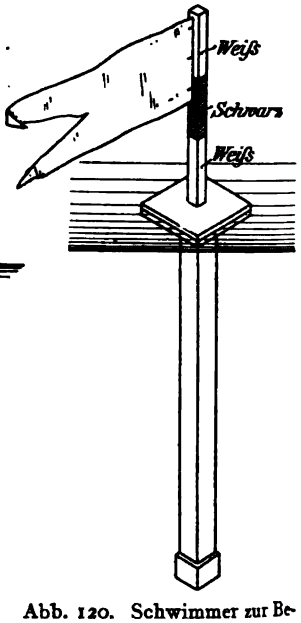


Abb. 120. Schwimmer zur Beobachtung von Strömungen.

Beobachtung der Strömungen. Bei der Beobachtung der Strömungen handelt es sich um Ermittlung der Richtung und Stärke in einem gegebenen Zeitpunkte. In den meisten Fällen genügt es, die Beobachtungen in der Nähe

[1]) L. Hagen, Die Seehäfen in den Provinzen Preußen und Pommern. Zeitschrift für Bauwesen 1883 und Sonderdruck. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin.

der Küste und in den Flußmündungen auszuführen. Zur Bestimmung der Geschwindigkeit können die für denselben Zweck im Flußbau gebräuchlichen Apparate benutzt werden, also Schwimmer, Cabeosche Stäbe, Röhren von Pitot, Frank und Flügelapparate der verschiedensten Bauart.

Im Seebau sind für die Geschwindigkeitsmessungen hauptsächlich Schwimmer und Logs gebräuchlich. Bei beiden kann auch gleichzeitig die Richtung der Strömung bestimmt werden. Die Schwimmer werden aus Holz hergestellt und so ausgebildet, daß sie wenig aus dem Wasser hervorragen, dem Winde keine wesentliche Angriffsfläche bieten und von der Strömung gut erfaßt werden. Man versieht sie meist mit aus dem Wasser hervorragenden, deutlich sichtbaren Toppzeichen, um sie auch in der Entfernung leicht verfolgen oder bei gleichzeitigem Gebrauch mehrerer Schwimmer deutlich voneinander unterscheiden zu können. Abb. 119 stellt einen von Hagen gebrauchten Schwimmer dar, der obigen Anforderungen entspricht. Eine andere Schwimmerform zeigt Abb. 120. Sollen tieferliegende Strömungen gemessen werden, so verwendet man teilweise gefüllte, geschlossene Glas- oder Blechgefäße, die man so beschwert, daß sie eben untergehen und hängt sie mit einer nach der betreffenden Tiefe bemessenen Schnur an einem kleinen, z. B. aus einer Korkplatte bestehenden Oberflächenschwimmer an.

Die Bestimmung der Strömungsrichtung geschieht entweder mit Hilfe des Kompasses, oder besser, indem man in bestimmten Zeitabständen, etwa in der Viertelstunde ein- oder zweimal, mit Hilfe eines Sextanten oder anderen Winkelmeßinstrumentes den Ort des Schwimmers bestimmt. Durch Eintragen der Orte in eine Karte und Hinzufügen der Beobachtungszeit erhält man dann leicht die gewünschten Werte, die Geschwindigkeit durch Messung der durchschwommenen Strecke und Teilung durch die dazu gebrauchte Zeit und die Richtung unmittelbar aus der Karte.

Am besten lassen sich die Beobachtungen ausführen, wenn der Lauf der Schwimmer von zwei verschiedenen Standpunkten aus gleichzeitig beobachtet wird. Beide Beobachter verfolgen mit einem Sextanten oder dem Fernrohr einer Kippregel den Schwimmer und messen die Richtung gleichzeitig auf ein gegebenes Zeichen. Benutzt man zu der Messung z B. zwei mit Pauspapier überzogene Meßtische und zeichnet bei jeder Beobachtung die Richtungslinie mit Bleistift unter Beifügung der Zeitangabe auf, so erhält man in einfachster Weise den Weg des Schwimmers, wenn man die beiden Pauspapiere, richtig orientiert, auf eine Karte legt und die Schnittpunkte der gleichzeitig aufgenommenen Richtungslinien durchsticht.

Ein anderes Verfahren, für das ein Beobachter genügt, besteht darin, daß dieser mit einem Boote dem Schwimmer folgt und in bestimmten Zeiträumen durch Beobachtungen mit einem Sextanten den Ort des Schwimmers gegen Landmarken festlegt.

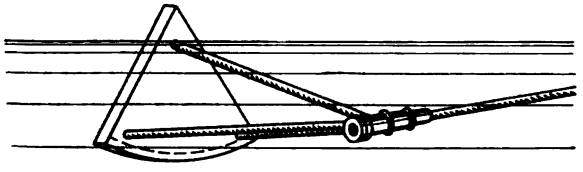


Abb. 121. Brettlog zur Geschwindigkeitsmessung von Strömungen.

Bei der Anwendung des Logs zur Geschwindigkeitsmessung kommt

hauptsächlich das Brettlog (Abb. 121) in Frage. Man wirft es von dem verankerten Boot über Bord und läßt es mit der Strömung treiben, durch die Anzahl der in der Zeiteinheit durch die Hand gelaufenen Knoten der Logleine wird die Geschwindigkeit der Strömung in Knoten oder Seemeilen in der Stunde gegeben.

Für gewöhnlich wird das Log in umgekehrter Weise angewendet; der Schiffer wirft es über Bord und läßt zunächst den ungeteilten Teil der Logleine (den Vorlauf) durch die Hand gleiten, bis eine durch einen weißen Lappen bezeichneten Stelle der Leine herankommt. In diesem Augenblick ruft er einem Gehilfen „turn" zu, worauf dieser eine meist 14 Sekunden laufende Sanduhr umkehrt, ablaufen läßt und diesen Zeitpunkt dem ersten Beobachter durch den Ruf „stop" anzeigt. Dieser hat während der Zeit des Ablaufens der Sanduhr die durch seine Hand gleitenden Knoten der Logleine gezählt und damit die Geschwindigkeit des Schiffes in Knoten, d. h. Seemeilen in der Stunde, bestimmt.

Die Entfernung der Knoten in der Logleine beträgt meist 7 m und erklärt sich wie folgt: Legt ein Schiff in einer Stunde eine Seemeile, d. h. 1852 m zurück, so beträgt sein Weg in 1 Sekunde $\frac{1852}{3600} = 0{,}514$ m. mithin in 14 Sekunden $14 \cdot 0{,}514 = 7{,}20$ m. Werden nun an der Leine die Knoten in 7,20 m Entfernung angebracht, so gleitet in dem angenommenen Falle dem Beobachter in 14 Sekunden ein Knoten durch die Hand; legt dagegen das Schiff 3, 5, 10 usw. Seemeilen in der Stunde zurück, so gehen durch die Hand des Beobachters 3, 5, 10 usw. Knoten in 14 Sekunden. Da nun das Brett nie ganz still steht, sondern etwas mitgeschleppt wird, so wird in der Praxis der Abstand der Knoten meist zu 7 m genommen.

Auf die neueren, zur Messung der Schiffsgeschwindigkeit dienenden Logs, sogenannte Patentlogs, die, nach Art der hydrometrischen Flügel gebaut

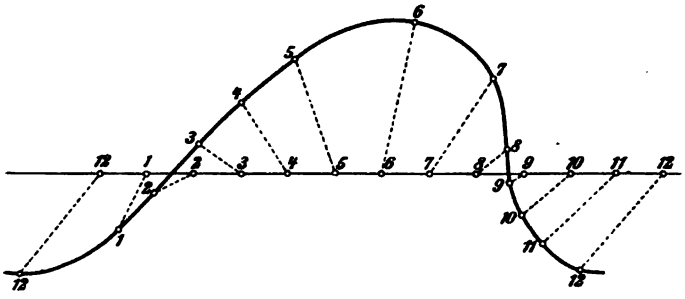


Abb. 122.
Zeichnerische Darstellung einer Strömung nach Richtung und Geschwindigkeit von einer Geraden aus.

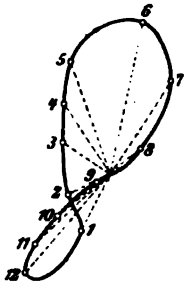


Abb. 123. Zeichnerische Darstellung einer Strömung nach Richtung und Geschwindigkeit von einem Punkte aus.

durch die Schiffe nachgeschleppt werden und die Bestimmung der Geschwindigkeit aus der Zahl der in einer Zeiteinheit gemachten Umdrehungen ermöglichen, sei hier nur hingewiesen.

In den meisten Fällen wird auf Seekarten usw. die Geschwindigkeit einer Strömung durch die Anzahl Knoten angegeben. Für den Vergleich kann davon

Gebrauch gemacht werden, daß einem Knoten ungefähr die Geschwindigkeit von 0,5 m/Sek. entspricht (siehe obige Ableitung).

Zur Verwertung der gemachten Beobachtungen fertigt man entweder Karten an, in denen durch Pfeile Richtung und Stärke der Strömung erkennbar gemacht sind (Abb. 109 u. 110), oder man stellt besondere zeichnerische Darstellungen her, indem man von einer Geraden oder einem Punkte aus beispielsweise für die ganzen Stunden die Richtung der jeweiligen Strömung durch eine Linie und durch ihre Länge die Geschwindigkeit darstellt; schließlich kann man die Endpunkte dieser Linien verbinden und erhält dann die durch Abb. 122 u. 123 wiedergegebenen Darstellungen.

Kapitel VI.

Vorbereitende Arbeiten.

Vorbemerkung. — Geographische und geologische Unterlagen. — Tiefenmessungen und Tiefenpläne. — Wasserstandsbeobachtungen. — Windbeobachtungen. — Wellenmessungen. — Strömungen. — Wärmebeobachtungen. — Bestimmung des Salzgehalts. — Schlickgehalt. — Boden- und Grundwasser-Untersuchungen. — Probebelastungen. — Wirtschaftliche Vorarbeiten.

Vorbemerkung. Vor jedem Hafenbau ist die Beschaffung umfangreicher Unterlagen zur Beurteilung zahlreicher Fragen auf technischem und wirtschaftlichem Gebiet unerläßlich. Manche von ihnen sind in den meisten Kulturstaaten vorhanden, wie Land- und Seekarten, ferner meteorologische und Wasserstandsbeobachtungen, geologische Untersuchungen u. a. m., viele dagegen müssen für die Zwecke des Hafeningenieurs durch besondere Vorarbeiten erst gewonnen werden.

Da die für viele dieser Arbeiten erforderlichen Kenntnisse, Verfahren und Geräte mit den im Wasserbau allgemein gebräuchlichen übereinstimmen und jedem Hafeningenieur geläufig sind, so sollen in nachstehendem im wesentlichen Hinweise auf die einzelnen, zu den Vorarbeiten gehörigen Tätigkeiten gegeben und nur über die den Arbeiten an der See besonders eigentümlichen und im Binnenlande weniger bekannten Verfahren und Geräte nähere Angaben gemacht werden. Über einzelne, in den Rahmen der Vorarbeiten fallende Tätigkeiten und Geräte ist ferner schon im vorigen Kapitel manches gegeben worden.

Geographische und geologische Unterlagen. Zu Übersichtskarten sind in Deutschland für alle Küsten Generalstabskarten im Maßstabe 1 : 100000, Meßtischblätter im Maßstabe 1 : 25000 vorhanden. Für Untersuchungen wirtschaftlicher Art, Abgrenzung der Verkehrsgebiete, Ermittlung der Verbindungswege nach dem Hinterland genügen die im Handel erhältlichen sonstigen Kartenwerke. Die Gestaltung der Küsten in näherer und weiterer Umgebung eines Hafenortes geht aus den deutschen Admiralitäts-Karten (Seekarten), herausgegeben vom Reichs-Marineamt, im Verlag von Dietrich Reimer in Berlin, hervor, die sich auch auf die deutschen Kolonien und die ihnen benachbarten Gebiete erstrecken. Die Maßstäbe der Karten sind sehr verschieden, wichtigere

Gebiete sind in größerem Maßstabe dargestellt, z. B. viele Teile der Ost- und Nordsee im Verhältnis 1 : 150000, 1 : 100000, 1 : 75000 und größer, die Umgebungen wichtiger Hafenplätze durch Sonderkärtchen bis zu 1 : 2000 der natürlichen Größe. In den meisten Fällen werden auch geologische Untersuchungen und Veröffentlichungen über den Aufbau und die Lagerung der Erdschichten an den Küsten zu erlangen sein.

Ähnliche Unterlagen sind auch an fremden Hafenplätzen mitunter zu erhalten und für die allerersten Beurteilungen einer Hafenfrage nützlich. Wo solche fehlen, müssen Neuaufnahmen vorgenommen werden, deren Ausdehnung und Maßstab nach dem Umfang der geplanten Anlagen festzusetzen sein wird. Wichtig ist es, daß bei diesen, meist von Landmessern auszuführenden Arbeiten von vornherein auf die besonderen Zwecke der Messungen Rücksicht genommen wird. Es müssen die Aufnahmen nicht zu eng begrenzt werden, sie müssen namentlich die benachbarten Küstenstrecken, Buchten, Vorsprünge, Flußmündungen und Seenflächen mit umfassen und besonders auf die genaue trigonometrische und astronomische Festlegung aller scharf hervortretenden und weit sichtbaren Festpunkte, wie Turmspitzen, Windmühlen usw., ausgedehnt werden, um für die später an die Landaufnahme anschließenden Tiefenmessungen sichere Ausgangspunkte zu schaffen. Bei dem Fehlen solcher Punkte sind besondere Zeichen neu zu errichten, zum Teil als weit sichtbare, leicht erkennbare hohe Baken, und so festzulegen, daß ihr Ort unverändert bleibt und bei Wiederholungen von Messungen leicht wiedergefunden werden kann. Besonders wichtig ist in dieser Hinsicht die Herstellung und Festlegung von Standlinien an der Küste entlang.

Durch astronomische Beobachtungen wird die geographische Lage des Ortes und die Nordrichtung zu bestimmen sein. Um bei späteren Messungen die Bussole benutzen zu können, muß auch die Abweichung der Magnetnadel von der Nordrichtung, die Mißweisung oder Deklination des Ortes, ermittelt werden.

Tiefenmessungen und Tiefenpläne. Zu den wichtigsten Vorarbeiten gehört die Vornahme von Tiefenmessungen oder Peilungen. Während für Messungen in Strommündungen, Hafenbecken oder in unmittelbarer Nähe der Küste die im Binnenlande gebräuchlichen Verfahren gleichfalls angewandt werden können, müssen für weit in die See hinaus auszudehnende Peilungen andere Methoden gewählt werden.

Bei allen Peilungen muß man genau die Stellen kennen, wo die Messung angestellt wurde, weil sonst der Zweck des Peilens beinahe ganz verfehlt wird.

Für Peilungen in der Nähe der Küste, vor Wellenbrechern und Molenköpfen werden zu diesem Zweck am Lande Richtungslinien festgelegt, in denen die einzelnen Tiefenmessungen vorgenommen werden. Dabei kann man von Punkten einer am Ufer entlanglaufenden Standlinie ausgehen und senkrecht dazu oder unter einem Winkel weitere Punkte festlegen, von denen je zwei durch Baken mit gleichfarbigen Flaggen die jeweilig zu verfolgende Richtung bezeichnen (Abb. 124). Oder man benutzt an der Küste vorhandene weit sichtbare Zeichen, Kirchtürme, Baken, Leuchttürme usw., und bezeichnet durch zeit-

weise an der Küste aufgestellte Flaggenstangen die Richtungen der von dem festen Punkte strahlenförmig ausgehenden Peillinien (Abb. 125).

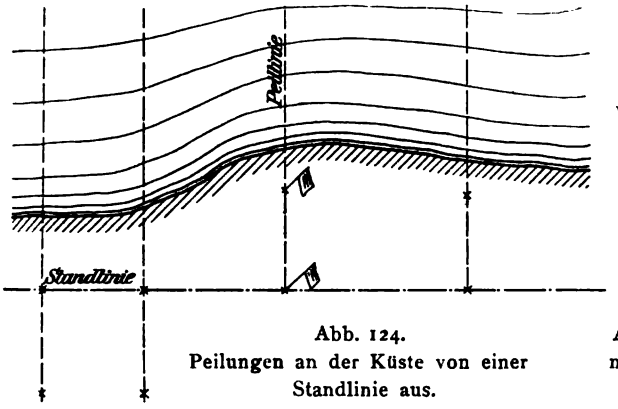


Abb. 124.
Peilungen an der Küste von einer Standlinie aus.

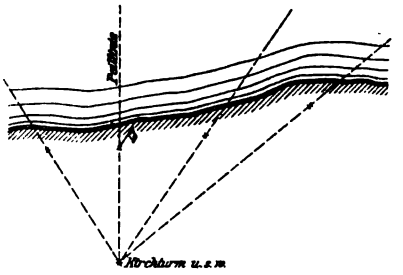


Abb. 125. Peilungen an der Küste nach von einem Punkte ausgehenden Richtungslinien.

Bei Peilungen in der Nähe von Molenköpfen sind strahlenförmig von den Molenköpfen ausgehende Richtungslinien durch Baken auf den Molen oder auch feste Punkte auf dem Lande leicht festzulegen (Abb. 126).

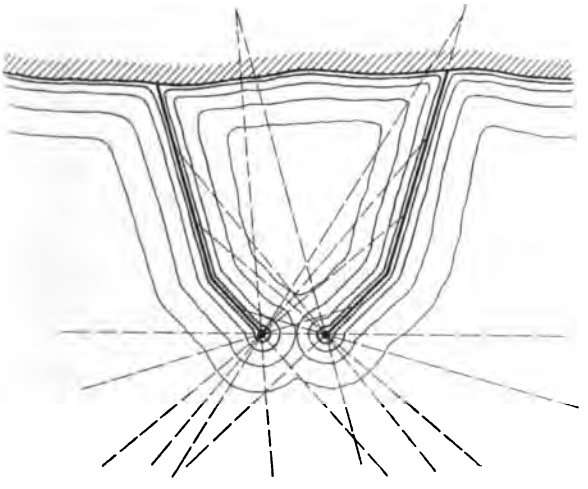


Abb. 126. Strahlenförmige Anordnung der Richtungslinien bei den Peilungen vor Molenköpfen.

Bei Peilungen in größerer Entfernung von der Küste müssen besonders gut sichtbare Zeichen gewählt werden oder es werden die einzelnen Tiefenmessungen nicht mehr in Richtungslinien vorgenommen, sondern es wird die Tiefe an beliebig gelegenen Punkten festgestellt und ihr Ort durch Winkelmessungen von dem Meßfahrzeug aus bestimmt.

Am einfachsten gestaltet sich die Ortsbestimmung der einzelnen Meßstellen in den Richtungslinien bei der Anwendung eines Peildrahtes. Dieser besteht aus einem 4 bis 6 mm starken Drahtseil aus verzinktem Eisen oder Gußstahl mit Längenmarken in 5 oder 10 m Abstand aus Messing- oder Kupferdraht oder aufgepreßten Plättchen aus den gleichen Metallen mit eingestanzten Zahlen. Das bis 500 m lange Peilseil wird auf eine Trommel gewickelt und durch ein an dieser befindliches Getriebe angespannt. Die ganze Vorrichtung wird auf den Duchten in der Mitte eines seetüchtigen Bootes, des Seilbootes, befestigt, das mit mindestens 3 Leuten besetzt ist.

Beim Peilen vom Ufer aus wird das Peilseil an einem Anker am Ufer oder an einem anderen festen Punkt in der Richtungslinie festgebunden, das

Boot in der Richtung der Linie unter Abwicklung des Seiles ausgefahren und verankert (Abb. 127). Werden 500 m lange Seile benutzt, so ist die Hinzufügung eines weiteren Bootes zur Unterstützung des Seiles in der Mitte (eines Buchtbootes) zweckmäßig, aber nicht unbedingt erforderlich. Nachdem nun das Peilseil durch Anziehen der Winde straff geholt ist, wird der Abstand des Nullpunktes von der Standlinie *a* in Abb. 127 durch Meßband oder Meßlatte bestimmt und die Peilung an dem Peildraht entlang mit Hilfe eines Peilbootes vorgenommen. In diesem befindet sich außer dem die Peilvorrichtung handhabenden Peilmatrosen und der Besatzung ein Beobachter, der das Ergebnis der bei jedem Knoten des Peilseils ausgeführten Messung aufschreibt und die Innehaltung der Richtung und die Richtigkeit der Ablesungen des Peilmatrosen beaufsichtigt. Bei ruhigem Wetter und geringer Strömung wird das Peilboot am einfachsten an dem Peilseil entlang gezogen, bei starker Strömung muß das Boot an der Leine entlang so geführt werden, daß diese nicht zu stark aus der Richtung gezogen wird.

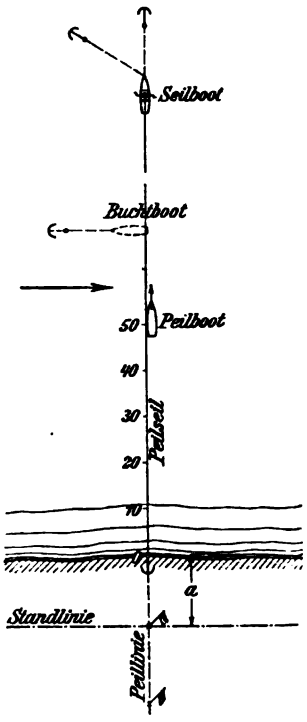


Abb. 127.

Bei dem beschriebenen Vorgehen ist der Ort jeder Peilung genau bestimmt und leicht

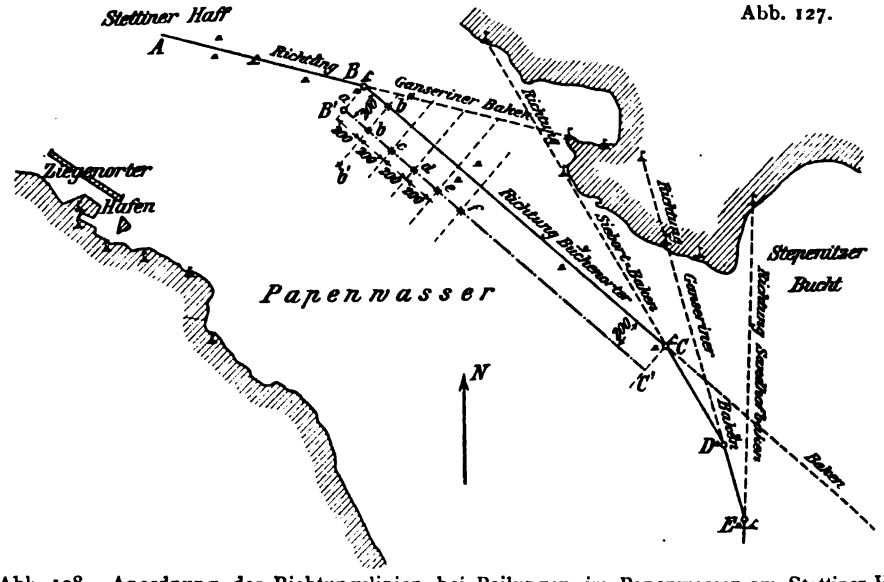


Abb. 128. Anordnung der Richtungslinien bei Peilungen im Papenwasser am Stettiner Haff.

in die Pläne einzutragen. In ähnlicher Weise hat der Verfasser auch auf dem Stettiner Haff und der daran südlichen anschließenden Bucht, dem Papenwasser, unter Benutzung des Peilseils umfangreiche Peilungen aus-

geführt; das Verfahren unterscheidet sich von dem vorstehend beschriebenen dadurch, daß ein festes Ufer als Ausgangspunkt für die Peilungen fehlte, da die Tiefenmessungen nur über die zu vertiefende Fahrrinne und zu beiden Seiten derselben ausgedehnt wurden. Die Ausführung der für ähnliche Arbeiten Anregungen bietenden Messungen soll nachstehend kurz beschrieben werden.

Auf dem Papenwasser folgte die auf dem Haff geradlinige Baggerrinne in einem Polygonzuge den von Natur tieferen Stellen. Die Mittellinien der einzelnen Polygonseiten waren für die Tagesschiffahrt durch je zwei auf dem Lande in 2 bis 5 km Entfernung aufgestellte Richtungsbaken aus Holz in verschiedener Gestalt und Farbe bezeichnet worden (Abb. 128). Durch ein nach zwei Richtungen verankertes Boot konnte sich nun ein Beobachter genau in den Schnittpunkt B oder C zweier Richtungen bringen und den Schnittpunkt durch eine lange Stange mit Flagge bezeichnen.

Da in der Fahrrinne 6 m Wassertiefe waren, so verursachte es anfänglich Schwierigkeiten, die 10 m langen Stangen so tief in den Schlickuntergrund zu stoßen, daß sie feststanden und nicht infolge des Auftriebs wieder aufschwammen. Nachdem jedoch zu beiden Seiten der Stange etwa 50 cm über dem unteren zugespitzten Ende schwere Eisenstücke befestigt waren (Abb. 129), standen die Stangen genügend fest; infolgedessen wurden später alle Flaggenstangen in dieser Weise ausgerüstet; sie sogen sich dabei so fest an, daß ihr Herausziehen nicht ganz leicht war; hierdurch wurde der weitere Vorteil erreicht, daß die Stangen von den Fischern im Vorbeifahren nicht leicht gestohlen werden konnten.

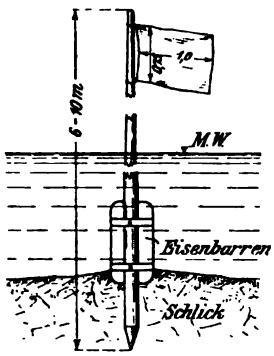


Abb. 129. Darstellung einer Richtungsbake für Absteckungen auf tiefem Wasser.

Nach der Aufstellung der Baken in den Punkten B und C wurden in diesen Punkten vom verankerten Boote aus Hilfslinien rechtwinklig zu Linie BC mit einem Winkelprisma bezeichnet und in diesen Richtungen mit Hilfe des Peilseils in 200 m Entfernung von B und C die Punkte B' und C' durch Stangen festgelegt. Auf diese Weise wurde eine zu BC parallele und gleich lange Standlinie $B'C'$ (Abb. 128) erhalten, die von der in der Fahrrinne vor sich gehenden Schiffahrt nicht gestört wurde. Nachdem die Punkte B und C noch von den Endpunkten einer Standlinie auf dem Lande angeschnitten worden waren, um ihren Ort durch Koordinaten kartographisch festzulegen, wurden die Baken B und C entfernt.

Die weitere Messung erfolgte nun von der Linie $B'C'$ aus, indem sie durch Flaggenstangen mit Hilfe des Peilseils in Strecken von 200 m geteilt wurde. In den dadurch erhaltenen Punkten a, b, c usw. wurden nun mit Hilfe des Winkelprismas vom verankerten Boote aus rechtwinklig zu $B'C'$ durch Bake b' die zu peilenden Richtungslinien festgelegt. Zwischen den Baken b und b' wurde alsdann ein Boot (das Ankerboot) verankert, an diesem das Peilseil befestigt, darauf das Seil von dem Seilboot in der Richtung $b'b$ 500 bis 600 m lang ausgefahren und nun vom Peilboot aus in den Knotenpunkten die Tiefenmessung vorgenommen. Bei der Durchfahrt des Peilbootes durch

die Richtung BC wurde ihr Schnittpunkt b'' mit der Meßlinie $b'b$ auf dem Peilseil abgemessen und aufgeschrieben und damit die Unterlage für die Auftragung der Peilungen auf der Karte von b'' aus nach beiden Seiten gewonnen. In dieser Weise wurde auf der viele Kilometer langen Strecke alle 200 m eine über die Fahrrinne gelegte Richtungslinie abgepeilt. Da die einzelnen Boote zum Durchrudern der von ihnen zurückzulegenden Strecken viel Zeit gebrauchten, wurden sie durch einen kleinen Dampfer geschleppt. Dieser erwies sich besonders nützlich beim Ausschleppen des Seilbootes.

Bei dem Peilen vom Ufer aus kann auch die Peilung vom Seilboot während des Ausfahrens erfolgen, indem das Boot gleichmäßig in der abgesteckten Richtung seewärts fährt, so daß das sich allmählich abwickelnde Peilseil straff bleibt und jedesmal, wenn ein Knoten frei wird, eine Peilung vorgenommen wird.

Werden die abzupeilenden Längen größer als 500 m, so können die Messungen einfacher und mit weniger Mannschaften ausgeführt werden, indem der Ort des Bootes durch einen Sextanten bestimmt wird. Das Boot fährt dann langsam und gleichmäßig in einer der, wie oben angegeben, bezeichneten Richtungslinien, während der Peilmatrose in regelmäßigen Zeiträumen Peilungen vornimmt, die von einem Gehilfen aufgeschrieben werden. Bei jeder Peilung wird nun mit dem Sextanten der Winkel gemessen, den die Richtung nach einem seitlich weit sichtbareren Punkt mit der von dem Boot verfolgten Richtungslinie bildet (α, α_1, α_2 usw. auf Abb. 130).

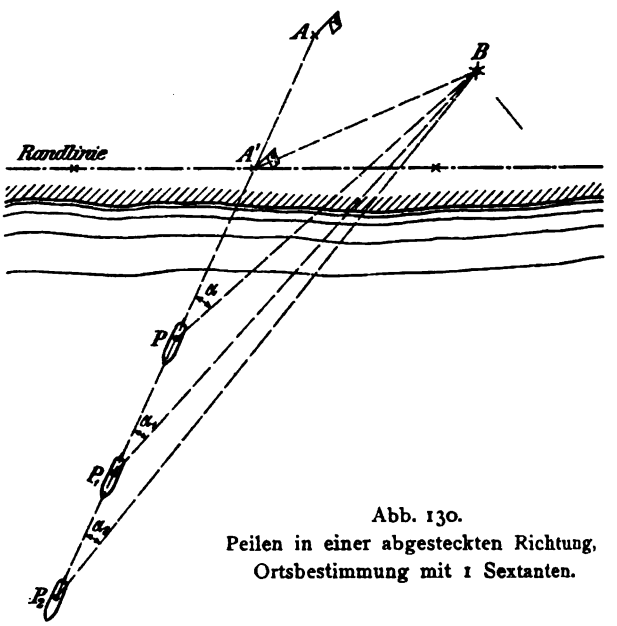


Abb. 130.
Peilen in einer abgesteckten Richtung, Ortsbestimmung mit 1 Sextanten.

Die Orte der einzelnen Peilungen P, P_1 und P_2 lassen sich dann leicht trigonometrisch aus den Dreiecken PAB, P_1AB usf. berechnen oder noch einfacher zeichnerisch auftragen. Gewöhnlich wird nicht an jeder einzelnen Peilung eine Winkelmessung vorgenommen, sondern nur von Zeit zu Zeit; bei dem Auftragen der Messungen werden dann die zwischen den durch Winkelmessung festgelegten Punkten ausgeführten Peilungen in gleichen Abständen eingetragen. Für den Beobachter mit dem Sextanten gestaltet sich die Tätigkeit weniger anstrengend, wenn er den Winkel schon vorher einstellt und nun wartet, bis im Spiegel des Sextanten die beiden Bilder der Richtungsbake und des seitlichen Punktes sich decken; diesen Augenblick ruft er dem

schreibenden Gehilfen zu, der den angegebenen Winkel zwischen die Peilungen einschreibt und dadurch an die richtige Stelle bringt. Durch vorherige Veränderung des Winkels, je nach den Verhältnissen um etwa 10 bis 20 Minuten, werden die weiteren Messungen vorbereitet und dadurch die Arbeit sehr erleichtert, da das Einstellen des Sextanten auf bestimmte, sich ändernde Winkel leichter ist als das scharfe Ablesen zufällig festgestellter.

Sind am Strande Richtungslinien nicht abgesteckt und handelt es sich nicht um sehr viele Tiefenmessungen, so kann der Ort jeder Peilung auch dadurch bestimmt werden, daß mit zwei Sextanten die Winkel nach drei an der Küste gut sichtbaren Punkten von bekannter Lage gemessen werden (Abb. 131). Durch Anwendung der bekannten Pothenotschen Aufgabe läßt sich dann der Ort der Messung leicht rechnerisch oder zeichnerisch bestimmen. Zu beachten ist dabei, daß der Beobachtungsort nicht auf dem durch die drei Landfestpunkte gehenden Kreise liegt; dies läßt sich am leichtesten vermeiden, wenn die drei Punkte am Lande möglichst auf einer geraden Linie liegen.

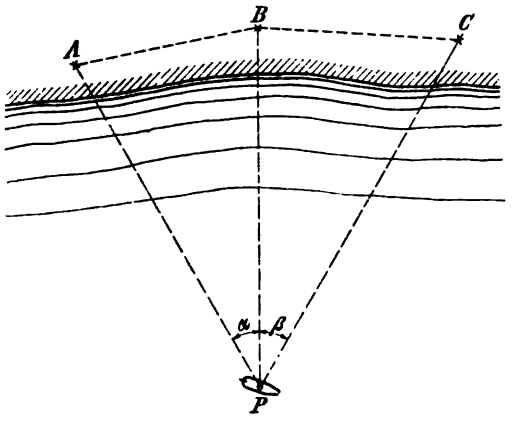


Abb. 131. Peilen an beliebiger Stelle, Ortsbestimmung durch 2 Sextanten.

Über die Wahl der Dichte der einzelnen Tiefenmessungen entscheidet der jeweilige Zweck der Arbeit und die Gestalt des Untergrundes insofern, als bei schnellen Tiefenänderungen die Messungen enger, 1 bis 5 m entfernt, und bei allmählicher Abnahme der Tiefe weiter, 5, 10, 20 bis 50 m entfernt, vorgenommen werden.

Ähnlich werden die Richtungslinien verschieden entfernt gewählt, z. B. bei der Herstellung von Uferbauten alle 10, 20, 50 oder 100 m, zur Beurteilung allgemeiner Änderungen des Strandes alle 200 bis 500 m.

Zur Ausführung der Tiefenmessungen selbst benutzt man bei Tiefen bis zu etwa 8 m am besten Peilstangen, eine im Querschnitt rund oder elliptisch gehobelte hölzerne Stange, die in Dezimeter geteilt und alle Meter abwechselnd schwarz und weiß oder rot und weiß gestrichen ist. Die Längen sind durch deutlich sichtbare Zahlen alle halbe Meter bezeichnet.

Um die Abnutzung der Enden und das Eindringen in weichen Boden zu vermeiden, ist an den Enden eine Blechscheibe oder auch eine birnenförmige Verstärkung angebracht. Die Bezifferung der Stangen geschieht am besten von beiden Enden aus, damit die Stange mit jedem Ende in die Tiefe gestoßen werden kann. Dies hat besonders bei dem Gebrauch einer langen Stange den Vorteil, daß man sie während der Fahrt des Peilbootes nicht herauszuheben braucht, sondern sie, nachdem sie etwas angehoben ist, allmählich bis zur wagerechten Lage umlegen und nun mit dem bisher oberen Ende schräg voraus in das Wasser stoßen kann, so daß sie, wenn das Boot an die nächste Peil-

stelle kommt, sich bis zur Lotrechten aufgerichtet hat und nun schnell heruntergestoßen werden kann. Bei einer solchen Handhabung lassen sich 10 bis 12 m lange Peilstangen noch anwenden.

Für die Messung größerer Tiefen kommt ausschließlich das Lot in Betracht, das aus einem kegelförmigen Eisen- oder Bleigewicht an einer mit eingebundenen Lappen oder Lederstreifen eingeteilten Hanfleine besteht. In Tiefen von 50 bis 90 m wird das Gewicht 4,5 bis 6 kg schwer genommen. Sollen Proben des Untergrundes mit heraufgebracht werden, so versieht man das Gewicht unten mit einer Höhlung, in die Talg gestrichen wird, oder mit einem Rohr und Klappenventil, in das kleine Mengen des Bodens beim Aufstoßen des Lotes eindringen.

Das Lot wird der Strömung entgegen oder in der Fahrtrichtung ausgeworfen und die Leine, wenn es den Boden erreicht hat, angezogen und gleichzeitig die Tiefe abgelesen. Sowohl bei der Peilstange als beim Lot werden die Tiefen auf ganze Dezimeter angegeben, da eine größere Genauigkeit keinen Wert hat, wie man leicht einsieht, wenn man bedenkt, daß die Genauigkeit der Ablesungen durch den Wellenschlag und das nicht ganz zu vermeidende Eindringen der Peilstange oder des Lotgewichts in den Untergrund, namentlich bei Schlickuntergrund, und durch das verschiedene Straffziehen der Lotleine sehr beeinflußt wird. Auch macht die starke Veränderlichkeit des Untergrundes in den Strommündungen und in der Nähe des Strandes genauere Tiefenangaben überflüssig.

Da die Peilungsarbeiten an der See und in Strommündungen wegen der dabei zurückzulegenden Wege und ihrer Abhängigkeit von ruhigem Wetter sehr zeitraubend und wegen der zur Bewegung der schweren, seetüchtigen Boote erforderlichen Mannschaft auch kostspielig werden, sind mehrfach Vorschläge zur Verwendung von Peilvorrichtungen gemacht worden, um die Messungen zu vereinfachen und zu verbilligen.

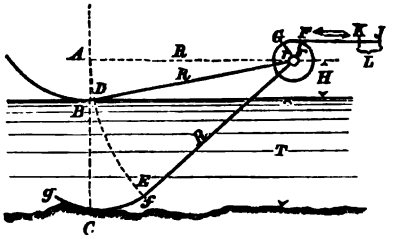


Abb. 132. Anordnung der Stecherschen Peilvorrichtung.

Von diesen ist im Binnenland die vom Oberbaurat Stecher in Dresden erfundene Vorrichtung gebräuchlich,[1]) deren Grundgedanke hier kurz beschrieben wird, da er auch für Küstenpeilungen verwendbar sein dürfte (Abb. 132).

Die aus Eisen hergestellte Peilstange ist in geneigter Lage mit einer wagerechten Welle zwischen zwei Fahrzeugen drehbar gelagert. Der mit dem Boden in Berührung kommende Teil gf der Peilstange ist nach einer Kreisevolvente gekrümmt, der obere gerade Teil bildet den Halbmesser R des Grundkreises dieser Evolvente, dessen Mittelpunkt in der Wellenachse liegt. Auf der Welle sitzt eine Scheibe mit dem Halbmesser r fest, auf der ein Stahlband befestigt ist, das einen mit Schreibstift versehenen Schlitten bei jeder Bewegung der Peilstange wagerecht hin und her zieht. Vor dem Schreib-

[1]) Zentralblatt der Bauverwaltung 1885, S. 349; 1899, S. 568.

stift wird durch ein Uhrwerk ein Papierstreifen vorbeigeführt, auf den die Gestalt der Sohle verkleinert im Verhältnis $r:R$ aufgezeichnet wird. Gleichzeitig zeichnet ein zweiter Schreibstift eine der Höhenlage des Wasserspiegels wagerechte Linie auf und gestattet ein dritter durch Drücken auf einen Knopf betätigter Schreibstift beim Vorbeifahren an kennzeichnenden Punkten des Ufers, Baken, Buhnenköpfen, Brücken usw., Querstriche auf den Papierstreifen zu machen, so daß von Zeit zu Zeit der Ort der gemessenen Tiefen auf dem Papierstreifen festgelegt wird.

Die theoretischen Beziehungen sind kurz folgende: Denkt man sich nach Abb. 132 die Peilstange einmal in Berührung mit dem Wasserspiegel bei B und ferner in der Berührung mit der Sohle bei C, so ergibt sich, da jeder Halbmesser der Kreisevolvente gleich der abgewickelten Bogenlänge des Grundkreises ist, daß

$$AB = \text{Bogen } AD,$$
$$AC = \text{Bogen } AE,$$

also auch

$$BC = DE = T$$

oder gleich der zu messenden Tiefe ist. Während sich nun die Peilstange um T senkt und D sich nach E bewegt, hat sich das Stahlband um die Länge FG auf die Scheibe aufgewickelt und sich gleichzeitig der Schreibstift von J nach K um L verschoben. Es verhält sich dann

$$FG : DE = r : R$$

oder

$$L : T = r : R,$$

mithin ist

$$T = \frac{R}{r} \cdot L.$$

Bei weicheren Bodenarten wird die Peilstange auf der auf dem Boden schleifenden Strecke zu verbreitern sein. Für Peilungen an der Küste könnte die Peilstange einseitig auf einem Schiffsgefäß oder besser in einem Schlitz wie bei den Eimerkettenbaggern gelagert werden. Der Vorteil der Einrichtung besteht darin, daß man die gepeilten Tiefen gleich aufgezeichnet erhält. Zu beachten ist aber, daß die Längen je nach der Fahrgeschwindigkeit auf dem sich gleichmäßig bewegenden Papierstreifen verschieden verzerrt werden; ein Nachteil, der an Flüssen durch häufige Aufnahme von Landmarken beim Vorbeifahren, an den Küsten durch zeitweise Ortsbestimmungen mit dem Sextanten ausgeglichen werden kann. Die Anwendbarkeit der Vorrichtung an den Küsten findet ihre natürliche Grenze darin, daß die Peilstange bei großen Abmessungen sehr schwer und unhandlich wird, so daß wohl kaum größere Tiefen als 10 m damit gepeilt werden können.

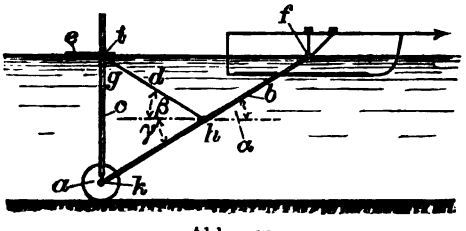


Abb. 133.
Peilvorrichtung von Buzeman.

Eine andere, von dem Ingenieur Kornelius Buzeman in Lübeck erfundene Peilvorrichtung[1]) stellt Abb. 133 in ihren Grundzügen dar. Bei dieser Ein-

[1]) Zentralblatt der Bauverwaltung 1908, S. 572. D. R.-P. 197903 vom 14. Februar 1907.

richtung steht die Peilstange *c* stets lotrecht. Sie ist am unteren Ende durch ein Gelenk *k* an einer Rolle, einem Schlitten oder einer Trommel befestigt. Die Rolle usw. wird durch eine geneigte Zugstange *b* mit einem Fahrzeug in *f* gelenkartig in Höhe des Wasserspiegels verbunden. An dieser Zugstange greift in halber Länge in *h* eine Lenkstange an, die zu dem Punkte *i* eines Schwimmers *e* führt, in dem die Peilstange in einem Schlitz sich frei auf und ab bewegen kann. Da nun das Gelenk *h* in der Mitte der Stange *b* liegt und ferner Lenkstange *d* gleich den Längen *fh* und *hk* der Stange *b* ist, so steht die den Winkel *ghk* halbierende Linie auf der Peillatte *c* senkrecht, da sie ferner auch zu dem wagerechten Wasserspiegel parallel ist, so muß die Peillatte stets lotrecht stehen.

Während das Fahrzeug nun gleichmäßig langsam fortbewegt wird, kann man an der Peilstange jederzeit die Tiefen ablesen. Stellt man beispielsweise auf dem Fahrzeuge noch eine Windetrommel mit einem aufgewickelten Peilseil auf, das am Ufer festgebunden ist und sich während der Fahrt abrollt, so ist auch der Ort der Peilung bestimmt, wenn man stets an der Peilstange abliest, so oft ein Knoten oder anderes Zeichen des Peilseils an der Peilstange vorbeigeht. Noch einfacher wird der Vorgang, wenn an der Winde noch eine Scheibe angebracht wird, vor der ein Zeiger die Länge des abgelaufenen Peildrahts jederzeit anzeigt. Anstatt in regelmäßigen Abständen abzulesen, kann man dann unter Umständen sich darauf beschränken, die Entfernung abzulesen, wenn die Tiefe um ein bestimmtes Maß, halbe oder ganze Meter, zugenommen hat.

Auch bei diesem Apparat ist die Anbringung von selbsttätigen Schreibeinrichtungen bei entsprechender Ausbildung der Schwimmer möglich.

Die Grenzen der Anwendbarkeit dieser Vorrichtung sind natürlich ebenfalls durch die zunehmenden Tiefen gegeben. Diesen Nachteil vermeidet ein in neuester Zeit durch den holländischen Ingenieur R. R. L. de Muralt, Zierikzee auf der Insel Schouwen, bekannt durch seine Eisenbetonuferschutzbauten, erfundener, nicht patentierter Peilapparat[1]) durch Verwendung des Lotes, so daß auch größere Tiefen damit aufgenommen werden können; bei der ersten Ausführung geschah dies bis zu 60 m.

Der Apparat besteht aus drei Hauptteilen, dem elektrischen Tieflot, einer selbsttätigen Anzeigevorrichtung und einer selbsttätigen Schreibeinrichtung.

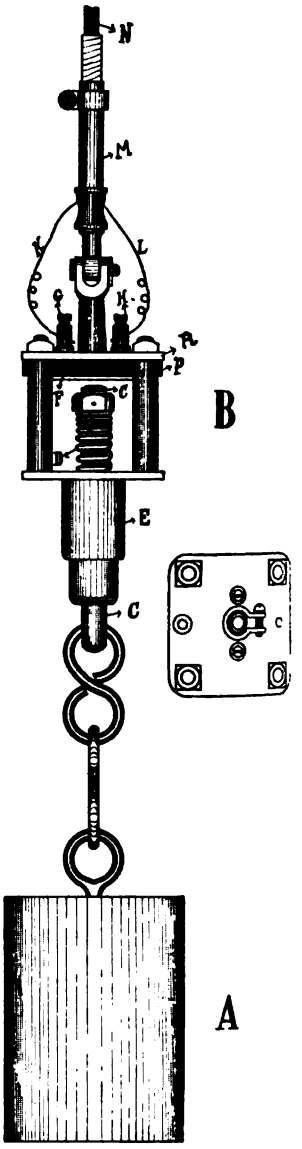


Abb. 134. Das elektrische Tieflot des de Muraltschen Peilapparates.

[1]) Beton u. Eisen 1908, Heft XI u. XII, S. 280 u. 297.

Das elektrische Tieflot (Abb. 134) besteht aus einem eisernen oder bleiernen Lotgewicht *A* und dem kupfernen Kontaktapparat *B*. In letzterem ist das Lotgewicht durch den Stab *C* mittels einer Feder *D* beweglich in der Büchse *E* aufgehängt. Diese steht durch vier Bolzen mit einer Platte *R* in Verbindung, an die ein kurzes Kupferrohrstück *M* angeschlossen ist. In diesem sind zwei isolierte Kupferdrähte *K* und *L* befestigt, die, nach oben zu zusammengedreht und mit wasserdichter Umhüllung versehen, die Lotleine *N* bilden. Unter der Platte *R* befindet sich eine isolierende Ebonitplatte und auf dieser eine Kupferscheibe *F*, die, isoliert von der Platte *R*, eine Klemmschraube *G* trägt. Eine zweite Klemmschraube ist auf der Platte *R* befestigt. In den Klemmschrauben *G* und *H* werden die beiden Leitungsdrähte *K* und *L* eingeschraubt. Berührt nun das Lot *A* den Boden, so lockert sich die Aufhängung etwas, die Feder *D* drückt den Bolzen *C* gegen die Platte *F* und schließt dadurch einen Stromkreis, der ein in der Lotseiltrommel angebrachtes elektrisches Läutewerk ertönen läßt. Der Beobachter erhält hiermit die Nachricht, daß das Lot den Boden berührt, schon nach geringem Anheben des Peilseils verstummt die Klingel wieder.

Durch eine derartige Einrichtung der Lotvorrichtung wird das zeitraubende Einholen und Wiederauswerfen des Lotes vermieden, indem nach jeder Bodenberührung die Kurbel der Lotseiltrommel ein wenig angedreht und dadurch das Lot etwas angehoben wird.

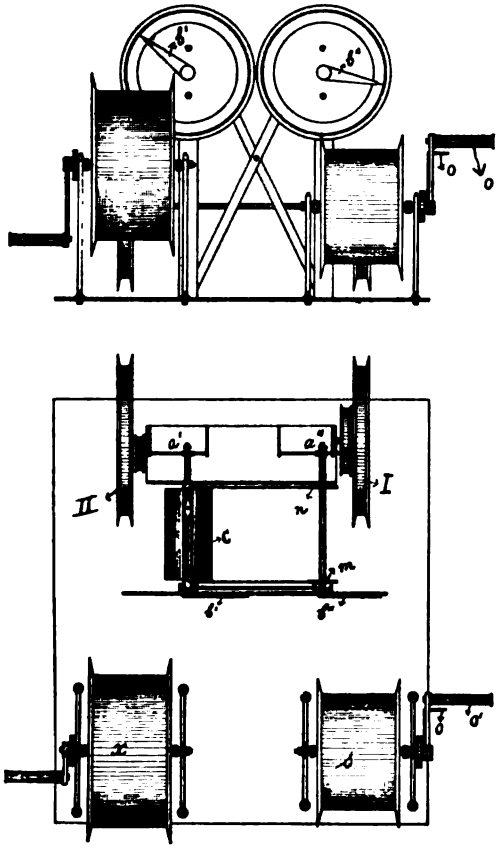


Abb. 135. Peilapparat von de Muralt, Vorderansicht und Grundriß.

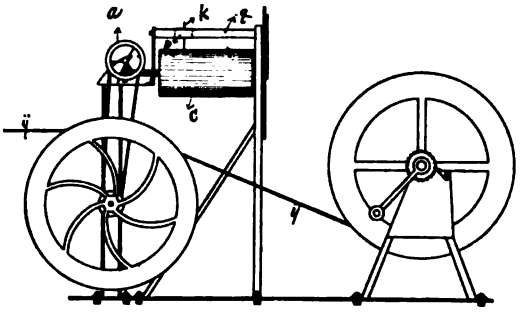


Abb. 136. Peilapparat von de Muralt, Seitenansicht.

Schon durch die alleinige Anwendung dieser Vorrichtung auf einem Peilboot würde an Zeit und Geld gespart und außerdem eine größere Genauigkeit als mit dem gewöhnlichen Lot erzielt werden.

De Muralt hat nun das elektrische Tieflot mit einer selbsttätigen Anzeigevorrichtung sowohl für die Tiefe als auch für den Abstand vom Ufer verbunden. Zu dem Zweck ist außer der Lotseiltrommel (*s* in Abb. 135)

noch eine zweite das Peilseil aufnehmende Trommel x und die noch zu beschreibende Anzeigevorrichtung auf einer gemeinsamen, eisernen Grundplatte vereinigt worden. Es führt die Lotleine von der Trommel s über das Meßrad I und das Peilseil von der Trommel x über das Meßrad II, so daß diese Räder jede Bewegung der beiden Seile mitzumachen gezwungen sind. Durch genau gearbeitete Übertragungen a' und a'' mit Schrauben ohne Ende werden Zeiger b' und b'' so in Bewegung gesetzt, daß sie auf den Kreisteilungen der Scheiben den Abstand vom Ufer in Metern und die gemessene Tiefe in Dezimetern anzeigen.

Durch eine selbsttätige Schreibvorrichtung wird außerdem gleichzeitig eine genaue Aufzeichnung des gepeilten Querschnitts erlangt. Hierzu ist auf der Achse des den Abstand bezeichnenden Zeigers eine Trommel C von solchem Durchmesser angebracht, daß bei einer Abwicklung des Peilseils um 10 m ein Trommelstreifen von 1 cm unter einem über der Trommelachse sitzenden Schreibstift vorbeigeht und daher die Abstände im Maßstabe 1 : 1000 aufgenommen werden.

Auf der Zeigerachse für die Tiefenangaben befinden sich ferner zwei gleich große Rollen m und n, von denen eine Metallseite zu dem über der Schreibtrommel C zwischen Schienen sich bewegenden, den Schreibstift tragenden Gleitblock k führt. Da die Metallseite an den Rollen m und n so befestigt ist, daß sie sich gleichzeitig auf der einen auf- und auf der anderen abwickelt (Abb. 137), so entsteht bei jeder Drehung der Lotseiltrommel eine entsprechende Verschiebung des Gleitblocks und damit auch des Schreibstiftes Das Übersetzungsverhältnis ist dabei so gewählt, daß 1 cm der Bewegung des Schreibstiftes einer solchen des Lotes um 2 m entspricht und die Aufzeichnung der Tiefen daher im Maßstabe 1 : 200 erfolgt.

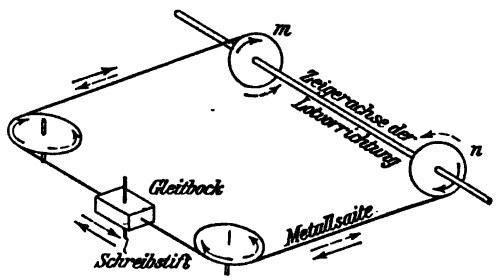


Abb. 137. Peilapparat von de Muralt, Anordnung der Bewegung des Schreibstiftes.

Die ganze Einrichtung wird am Heck eines Bootes aufgestellt. Das Lotgewicht und das Lotseil bewegen sich durch ein auf dem Boden des Bootes wasserdicht befestigtes Rohr. Für den praktischen Gebrauch ist endlich noch eine an der Kurbel o' der Lotseiltrommel angebrachte Auslösevorrichtung o von Wichtigkeit (Abb. 135), durch deren Anziehen die Trommel von der Kurbel ausgerückt wird und das in die Tiefe gehende Lot die Trommel ohne Bewegung der Kurbel mitnehmen kann.

Der Vorgang bei einer Peilung ist nun folgender. Auf die Trommel c wird ein mit vorgedruckten Linien versehenes Papierblatt befestigt und das Peilboot in die durch Flaggenstangen abgesteckte Richtung gebracht. Durch Straffziehen des Abstanddrahts wird an dem Zeiger b' die Entfernung vom Anfangspunkt des Peilseils bestimmt. Das Lot wird so weit aufgewunden, daß es eben den Wasserspiegel mit seiner Unterkante berührt. Bis dahin sind alle Verbindungen mit der Schreibvorrichtung gelöst. Nun wird der

Schreibstift durch Drehen der Rollen *m* und *n* und der Trommel *c* auf dem Zeichenbogen so eingestellt, daß er dort sowohl den richtigen Abstand vom Ufer als auch die augenblickliche Lage des Wasserspiegels genau bezeichnet. Sodann werden alle gelösten Schrauben angezogen und mit dem Peilen dadurch begonnen, daß der Beobachter die Kurbel *o'* ergreift und, ohne sie zu bewegen, die Auslösung *o* anzieht, so daß nun das Lot in die Tiefe schießt und die Trommel *c* sowie den Schreibstift *k* mitnimmt. In dem Augenblick, wo das Lot den Meeresboden erreicht, ertönt die elektrische Klingel; sogleich wird die Auslösung *o* losgelassen und die Kurbel *o'* angedreht, wodurch das Lot sich vom Boden abhebt und gleichzeitig der Schreibstift wieder zurückgeht. Während nun das Peilboot in der Richtungslinie langsam weiter gerudert wird, wiederholt der Beobachter den zuletzt beschriebenen Vorgang an der Auslösung *o* und der Kurbel *o'* in jeder beliebigen, durch den Zeiger (*b'* auf Abb. 135) angegebenen Entfernung vom Ufer. In der dabei erhaltenen, durch Abb. 138 wiedergegebenen zeichnerischen Darstellung des gepeilten Querschnitts entspricht die Linie *px* dem Heruntergang des Lotes, Punkt *x* der genauen Lage der vom Lot berührten Stelle des Meeresbodens nach Entfernung und Tiefe und Linie *xq* dem Anheben des Lotes. Da der Beobachter die entstehende Querschnittzeichnung vor sich sieht, kann er ganz nach Bedarf die Tiefenmessungen in größerem oder kleinerem Abstand voneinander vornehmen, gewissermaßen den Untergrund abfühlen. Die Verbindungslinie aller erhaltenen Punkte *x* gibt dann die verzerrt gezeichnete Darstellung der Tiefen des Meeresgrundes in der gewählten Richtungslinie, so daß durch die neue Erfindung nicht nur an Personen bei der Peilung selbst, sondern auch die ganze zeichnerische Arbeit des Auftragens der Messungen erspart wird.

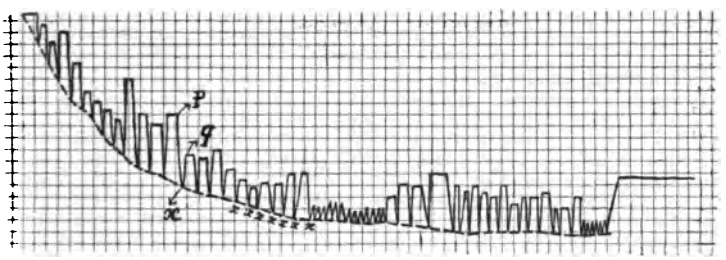


Abb. 138. Darstellung der durch den de Muraltschen Peilapparat erhaltenen Aufzeichnungen.

Da der beschriebene Apparat an Einfachheit und Leistungsfähigkeit die beste bisher erfundene Peileinrichtung darstellt, glaubte der Verfasser sie besonders ausführlich behandeln zu sollen.

Eine andere, auch ganz brauchbare, von Ingenieur Fielden Sutcliffe in Liverpool erfundene Peilvorrichtung wird von Brysson Cunningham in seinem Werk Harbours Engineering auf S. 46 beschrieben.

Bei allen Peilungen ist die regelmäßige Beobachtung des zur Zeit der Peilungsarbeiten vorhandenen Wasserstandes von größter Wichtigkeit. Bei Meeren mit geringen Wasserspiegelschwankungen genügt hierzu das Ablesen eines benachbarten Pegels an jedem Tage zu Beginn und am Ende der Messungen oder die Entnahme der bezüglichen Angaben aus den Pegellisten; wo aber Ebbe und Flut den Wasserstand ständig verändern, muß der Wasser-

stand am besten an einem in der Nähe der Baustelle errichteten Hilfspegel in kurzen Zeiträumen ständig beobachtet werden und ferner bei jeder gepeilten Linie der Zeitpunkt der ersten und letzten Peilung aufgeschrieben werden.

In den Tidemeeren ist die günstigste Zeit zur Vornahme der Peilung um Niedrigwasser herum, weil dann die Tiefen am geringsten und auch die Stömung, besonders während des Kenterns, am wenigsten hinderlich ist.

Die gemessenen Tiefen werden in Meeren ohne merkliche Fluterscheinung gewöhnlich auf den mittleren Wasserstand zurückgeführt, in den Meeren mit Ebbe und Flut auf das gewöhnliche, mittlere Niedrigwasser oder, wie es in England und Frankreich üblich ist, auf das Niedrigwasser der Äquinoktial-Springfluten.

Die Peilungsergebnisse werden entweder auf Millimeterpapier in verzerrtem Maßstabe, die Tiefen etwa fünf- bis zehnmal größer als die Längen, aufgezeichnet, weil dann die Veränderungen des Untergrundes deutlich hervortreten, ohne daß die Querschnitte zu lang werden, oder sie werden zur Herstellung von Tiefenplänen benutzt, indem alle Orte gleicher Tiefe durch Linien verbunden werden. Die Tiefenlinien werden gewöhnlich für die Zunahme der Tiefe um 0,5 oder 1 m ermittelt und am besten durch eingeschriebene Tiefenzahlen bezeichnet; zweckmäßig ist es, die auf halbe Meter fallenden Linien gestrichelt und die auf 5 und 10 m Tiefe usw. kommenden Linien stärker als die übrigen herzustellen (Abb. 139).

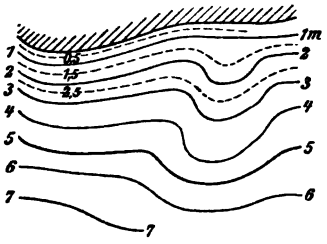


Abb. 139. Zeichnerische Darstellung von Peilungen durch Tiefenlinien.

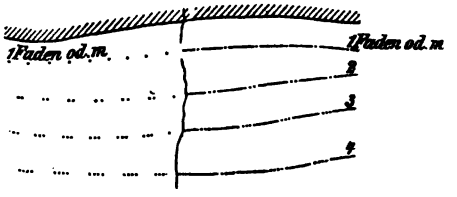


Abb. 140. Ältere Darstellungsweise von Tiefenlinien.

Erwähnt sei noch, daß auf älteren Karten die Tiefen nach Faden (1 Faden = 1,829 m) unter Anwendung besonderer Bezeichnungen dargestellt wurden, wie Abb. 140 zeigt.

Zeichnet man in den Querschnitten oder Tiefenplänen die bei verschiedenen, zeitlich auseinanderliegenden Peilungen erhaltenen Ergebnisse in verschiedenen Farben übereinander, so gewinnt man ein wichtiges Mittel zur Feststellung und Beobachtung von Veränderungen des Meeresgrundes. Aus diesem Grunde werden bei allen Hafenverwaltungen an wichtigen Stellen in regelmäßig vorgeschriebenen Zeiträumen Peilungen vorgenommen Wohl selbstverständlich ist es, daß diese zur Vergleichung bestimmten Messungen stets genau in denselben Richtungslinien und von demselben Anfangspunkt aus erfolgen müssen; in solchen Fällen müssen daher die Festpunkte für die Messungslinien besonders sorgfältig, wiederauffindbar und unverrückbar hergestellt werden.

Wasserstandsbeobachtungen. Für jeden Hafen-Neu- oder -Erweiterungsbau bilden sorgfältige und längere Zeit hindurch angestellte Wasserstandsbeobachtungen eine unentbehrliche Grundlage.

Über die Ausführung der Beobachtungen und die dazu benutzten Einrichtungen kann hier, da sie an den meisten Küsten seit langer Zeit vorhanden und durch besondere Vorschriften geregelt sind, kurz hinweggegangen werden. Erwähnt sei nur noch, daß in Deutschland das Pegelwesen durch die Einrichtung eines besonderen Bureaus für die Hauptnivellements und Wasserstandsbeobachtungen im preußischen Ministerium der öffentlichen Arbeiten eine hohe Stufe der Entwicklung erlangt hat und daß die von seinem Leiter Seibt in Verbindung mit dem Mechaniker Fueß entworfenen und ausgeführten Pegelapparate Einfachheit und Zuverlässigkeit mit hoher Zweckmäßigkeit verbinden.[1])

Besonders empfehlenswert ist die Aufstellung von selbstzeichnenden Pegeln an den Meeren mit Ebbe und Flut wegen der Stetigkeit der Beobachtungen.

Die Errichtung von Pegeln und Einführung regelmäßiger Beobachtungen an den für Hafenbauten in Aussicht genommenen Küsten sollte eine der ersten der vorbereitenden Arbeiten sein. Sie verschaffen Kenntnis über die zur Festsetzung der Höhe der Hafendämme und Ufermauern maßgebenden höchsten und über die für die Bestimmung der Wassertiefen zugrunde zu legenden niedrigsten Wasserstände; sie gestatten die Ermittlung der Häufigkeit dieser und anderer wichtiger Wasserstandshöhen und die Vornahme von Berechnungen mittlerer Wasserstände über beliebige Zeitabschnitte und damit die Untersuchung mancher Fragen über Veränderungen der gegenseitigen Höhenlage zwischen Küste und Meeresspiegel.[2])

Für die Bearbeitung der in Tabellenform von abgelesenen Pegeln oder in Gestalt von Kurven von selbstzeichnenden Apparaten erhaltenen Wasserstandsbeobachtungen ist die Anfertigung übersichtlicher zeichnerischer Darstellungen, bei denen die Wasserstände als Höhen und die Zeiten als Längen aufgetragen werden, besonders empfehlenswert, da sie die Arbeit wesentlich erleichtern. Unerläßlich ist die Vornahme von Aufzeichnungen im Ebbe- und Flutgebiet, um die Gestalt der Flutkurven des Ortes zu erhalten.[3])

Windbeobachtungen. Über die Entstehung und Eigenschaften der Winde, ihre Beobachtung und die Bearbeitung der Ergebnisse ist schon im vorigen Abschnitt gesprochen worden. Hier sei nur auf den Zusammenhang der Winde mit den Hafenbauten hingewiesen.

Durch die Ermittlung der an einem Hafenorte vorherrschenden und außerdem der heftigsten Winde nach Richtung und Stärke werden die Unterlagen für die Bestimmung der Lage, Richtung, Form und Weite der Hafeneinfahrt und auch für die Linienführung der Hafendämme und Molen gegeben.

Von der richtigen Lage der Hafeneinfahrt zu diesen Winden hängt es ab, ob die Einfahrt für die Schiffahrt leicht und sicher oder schwierig und gefahr-

[1]) Näheres: Zentralblatt der Bauverwaltung, Verlag von Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin, 1891, S. 405, Selbsttätiger Universalpegel Swinemünde; 1892, S. 499, Präzisionspegel; 1893, S. 452, Kurvenzeichnender Kontrollpegel; 1897, S. 93, Druckluftpegel, S. 331, Lichtbildpegel, S. 368, Rollbandpegel, S. 563, Selbsttätiger Gezeitenpegel.

[2]) Anderson, Das Mittelwasser der Ostsee bei Kolbergermünde, Zeitschrift für Bauwesen 1898, S. 93. — Seibt, Das Mittelwasser der Ostsee bei Swinemünde, desgleichen bei Travemünde.

[3]) Vergl. Seite 129.

voll ist, ferner ob im Hafen der nötige Schutz herrscht oder ob das Eindringen hoher Wellen starke Schwellungen erzeugt (vergl. Kap. 8).

Für die Segelschiffahrt ist auch die Beobachtung der Windfolge von Bedeutung, da ausgehende Schiffe oft durch kurzes Verweilen günstigere Verhältnisse abwarten können.

Die Windbeobachtungen sind ferner für die Beurteilung der Richtung und Stärke der Küstenströmungen und der an sandigen Küsten damit zusammenhängenden Sandbewegung von Wichtigkeit, da von diesen die Richtung der Hafendämme und Molen und die Frage der Offenhaltung der Hafeneinfahrt beeinflußt wird (vergl. Kap. 8).

Jedoch nicht nur die Sandbewegung unter Wasser spielt hierbei eine Rolle, an vielen Küsten verlangt auch die durch den Wind hervorgerufene Sandbewegung oberhalb des Wassers, am Strande, infolge der dadurch eintretenden Umformungen des Ufers (Dünenbildungen) und Verwehungen von Wasserflächen besondere Beachtung und Schutzmaßregeln.

Wellenmessungen. Mit zu dem schwierigsten Teil der Vorarbeiten gehören die Untersuchungen über die Richtung, Höhe, Länge und Geschwindigkeit sowie Stoßkraft und Wirkungsweise der Wellen an einer Küste. Man wird sich vielfach auf Vergleiche mit Nachbarorten und die daselbst gemachten Erfahrungen beschränken müssen, oder nach den im vorigen Kapitel gegebenen Formeln Annahmen machen müssen.

Wo es jedoch irgend möglich ist, sollte danach gestrebt werden, unsere verhältnismäßig geringe Kenntnis der Wellen durch neue Beobachtungen zu vermehren Über die dazu erforderlichen Apparate, namentlich zur Messung des Wellenstoßes, sind im vorigen Abschnitt nähere Angaben gegeben.

Strömungen. Über die Beobachtung der Strömungen nach Richtung und Geschwindigkeit vergleiche den betreffenden Abschnitt im vorigen Kapitel. Ihre Kenntnis ist von Wichtigkeit für die Anordnung der Hafeneinfahrten, der Hafendämme und Molen und, wie bereits erwähnt, für die Beurteilung der Frage der Sandbewegung an den Küsten und für die Offenhaltung der Fahrrinnen und Hafeneinfahrten.

Wärmebeobachtungen. Die zur Beurteilung der klimatischen Verhältnisse eines Hafenortes erforderlichen Beobachtungen der Luftwärme werden meist mit den Beobachtungen der Pegel und von Wind und Wetter verbunden.

Sie haben in Verbindung mit den Aufzeichnungen der Eisbildungen namentlich für nördliche Häfen Bedeutung, indem die Zeit der Eissperre in ihrem frühesten und spätesten sowie durchschnittlichen Wert daraus zu ermitteln ist (vgl. Abschnitt 3 des vorigen Kapitels auf S. 180).

An Orten, wo warme und kalte Strömungen auftreten, aber auch an anderen Plätzen haben regelmäßige Beobachtungen der Wasserwärme einen nicht zu unterschätzenden Wert, indem sie bisweilen über dunkle Fragen Aufklärung geben, wie z. B. über die Entstehung und Bewegung von Meeresströmungen, über das Vorkommen von Lebewesen und über Schwankungen in den Fischereierträgnissen usw.

Für die Wärmemessungen an der Oberfläche des Seewassers genügen die gewöhnlichen Thermometer. In größeren Tiefen, soweit sie für den Ingenieur

in Betracht kommen, ist das Maximum- und Minimum-Thermometer nach Six von Casella in London bequem und genügend zuverlässig (Abb. 141)[1]). Bei demselben dehnt sich das in dem Raume *C* des Schenkels *A* befindliche Kreosot während der Erwärmung aus und treibt den Quecksilberfaden und das Stäbchen *a'* in dem Schenkel *B* in die Höhe. Während der Abkühlung findet der umgekehrte Vorgang statt, das Kreosot in *C* zieht sich zusammen, dabei folgt das Quecksilber im Schenkel *A* und schiebt das Stäbchen *a* in die Höhe, während das Stäbchen *a'* liegen bleibt. Auf den neben den Glasschenkeln angebrachten Teilungen zeigt demnach die Unterkante des Stäbchens *a'* die höchste und diejenige von *a* die niedrigste von dem Thermometer erreichte Temperatur an (auf Abb. 143 50° F = 10° C.). Der Schenkel *B* ist über dem Quecksilber teilweise ebenfalls mit Kreosot angefüllt, das wie ein Gegengewicht wirkt.

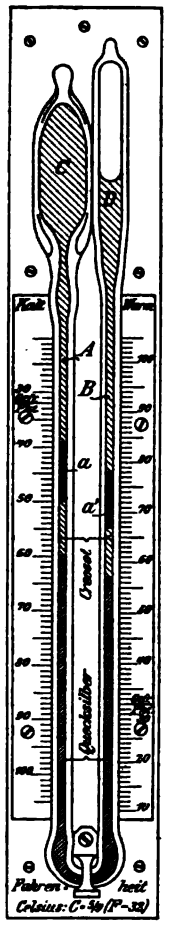


Abb. 141. Maximum- und Minimumthermometer nach Six von Casella zum Messen der Wasserwärme in beliebiger Tiefe.

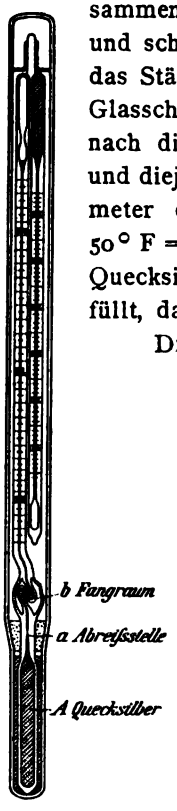


Abb. 142. Umkippthermometer von Negretti und Zambra.

Die Aufgabe, die Temperatur in einer bestimmten Tiefe zu messen, wird am besten durch die Umkippthermometer erfüllt, wie sie seit 1878 von Negretti und Zambra und in neuerer Zeit von C. Richter in Berlin hergestellt werden (Abb. 142). Bei ihnen befindet sich an dem Übergang von dem Quecksilberbehälter *A* in das Haarröhrchen eine starke Verengung *a*, so daß an dieser Stelle der Quecksilberfaden abreißt, wenn das Thermometer um 180° gedreht wird. Um ferner bei späterer Erwärmung ein Nachfließen von Quecksilber zu verhüten, ist bei *b* ein kleiner Fangraum vorgesehen. Zum Schutze gegen den in größeren Tiefen herrschenden Wasserdruck ist das Thermometer in eine starke, fast luftleer gemachte Glasröhre eingeschmolzen, in derem unteren Ende sich, durch einen Pfropfen von dem oberen Raum getrennt, Quecksilber zur Durchleitung der Temperaturunterschiede befindet.

Abb. 143. Meyersche Flasche zur Entnahme von Wasserproben aus Tiefen bis zu etwa 30 m.

Beim Gebrauch werden derartige Thermometer mit einem Tieflot so verbunden, daß sie nach dem Aufstoßen des Lotes auf dem Boden sich auslösen und umkippen.

[1]) Vgl. auch Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, S. 375, Stuttgart 1907. Verlag von Engelhorn.

Bestimmung des Salzgehalts. Da der Salzgehalt des Seewassers auf sein spezifisches Gewicht von Einfluß ist, ferner auch für verschiedene im Hafenbau zu beachtende Lebewesen und Pflanzen Bedeutung hat und den Tiefgang der Seeschiffe bestimmt, so ist seine Ermittlung zu den vorbereitenden Arbeiten zu rechnen.

Zur Gewinnung von Wasserproben an der Oberfläche genügt ein einfacher Eimer, der vom Schiff aus ins Wasser gelassen wird. Zu achten ist dabei auf die Reinheit des Eimers und darauf, daß das Wasser nicht vor der Auswurföffnung der Zirkulationspumpen entnommen wird. Für die Entnahme von Wasser aus Tiefen bis zu 30 m genügen die sogenannten Meyerschen Flaschen (Abb. 143), die, leer zugekorkt und durch ein Gewicht beschwert hinabgelassen, durch einen kurzen Zug an der Leine geöffnet und nach beendeter Füllung, wenn keine Luftblasen mehr aufsteigen, schnell heraufgezogen werden.

Bei großen Tiefen werden besondere Schöpfvorrichtungen angewandt, die aus offenen, in die Tiefe versenkten Metallgefäßen bestehen und in der beabsichtigten Tiefe durch Ventile oder Hähne usw. geschlossen werden.[1])

An den Proben kann der Salzgehalt an Ort und Stelle am einfachsten durch gläserne Aräometer[2]) bestimmt werden, vielfach werden die Proben auch in verkorkten Flaschen gesammelt und am Lande untersucht.

Der Salzgehalt der großen Ozeane ist an der Oberfläche im Durchschnitt zu 35 vT. ermittelt worden; am salzreichsten erscheint der Atlantische Ozean mit bis zu 37,6 vT. an der südamerikanischen Küste; im Indischen Ozean erreichen ebenfalls zwei größere Gebiete bis zu 36,4 vH., während im Stillen Ozean im allgemeinen geringere Salzmengen bis zu 33 vT. auftreten. Festgestellt ist ferner, daß der Salzgehalt nach den Polen zu abnimmt und etwa vom 65. bis 70. Breitengrade ab nur 33 vT. beträgt. In den großen Meeren sind ferner die Unterschiede nach der Tiefe sehr gering.

In der Nordsee ist im nördlichen Teil infolge der von Nordwesten kommenden ozeanischen Einströmung ein Salzgehalt von 35 vT. die Regel, nach der deutschen Bucht zu nimmt der Salzgehalt infolge des Einflusses des Süßwassers der großen Ströme ab, bei Helgoland auf 33 bis 32 vT. und in den Watten bis unter 31. In der Elbe bei Kuxhaven ist der Salzgehalt bei Flut 20 vT., bei Ebbe 17 vT. und in der Süderelbe im allgemeinen höher als in der Norderelbe.

In der Ostsee wechselt im westlichen Teil in den Belten, der Kieler und Mecklenburger Bucht der Salzgehalt sehr stark mit der Richtung, Stärke und Dauer der Winde und der dadurch beeinflußten Mischung des Ostseewassers mit Nordseewasser. Im allgemeinen findet in der Tiefe ein Einströmen von salzreicherem Nordseewasser statt, während besonders im Frühjahr salzärmeres Wasser als dünne Schicht an der Oberfläche ausfließt.

---

[1]) Vergl. Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, S. 325 u. f., auch bezüglich der folgenden Angaben.

[2]) Hohle Schwimmkörper von gleichbleibendem Gewicht, mit langem, dünnem, mit Skala versehenem Hals, die um so tiefer eintauchen, je leichter, und um so weniger, je schwerer die Flüssigkeit ist.

Bei anhaltenden Ostwinden im Frühling sinkt der Salzgehalt im Beltsee bis zu 10 vT., während starke Westwinde ihn bis 20 und 22 vT. und nach dem Kattegat zu noch höher ansteigen lassen.

Weiter nach Osten ist der Salzgehalt beständiger und stark abnehmend, im südlichen Teil zwischen Rügen und Osel zwischen 7 und 8 vT., von Öland bis zu den Finnischen Schären bis 6 und 7 vT., im Finnischen und Bottnischen Busen noch weniger, besonders nach dem Lande zu und vor Kronstadt und Haparanda oft unter 2 vT. und im Frühjahr bisweilen kaum bemerkbar.

Nach der Tiefe nimmt der Salzgehalt in der Ostsee im allgemeinen um wenige Promille zu, und zwar zeigen sich hierbei insofern regelmäßige Schwankungen, als im Spätsommer und Herbst die größten Werte und im Frühling die kleinsten gefunden werden.

In der Danziger Bucht wurde für die Jahre 1902 bis 1906 im Durchschnitt

an der Oberfläche . .	7,22	vT.
in 20 m Tiefe . . .	7,24	„
„ 40 „ „ . . .	7,29	„
„ 75 „ „ . . .	8,49	„
„ 105 „ „ . . .	11,66	„

festgestellt.

Im großen und ganzen ist die Ostsee in ihrem oberen Teil ein Sammelbecken für atmosphärische Gewässer, dessen Salzgehalt durch Zuführungen aus der Nordsee unterhalten wird. In größeren Tiefen lagern salzreichere Schichten, die nur selten Veränderungen erleiden und an Vermischungen teilnehmen.

Die Zusammensetzung des Seesalzes ist nach Untersuchungen von Forchhammer folgende:

Art des Salzes	In 1000 g Wasser	In vH. aller Salze
1. Kochsalz oder Chlornatrium NaCl	26,86 vT.	78,30 vH.
2. Chlorkalium KCl	0,58 „	1,80 „
3. Chlormagnesium $MgCl_2$	3,24 „	9,40 „
4. Magnesiumsulfal $MgSO_4$	2,20 „	6,40 „
5. Gips oder Calciumsulfat $CaSO_4$.	1,35 „	3,90 „
Rest	0,07 „	0,20 „
zusammen	34,30 vT.	100,00 vH.

Nimmt man als gewöhnlichen Salzgehalt der Ozeane 35 vT., so ergibt sich das spezifische Gewicht des Meerwassers zu 1,028 bei 0° C.

Mit dem spezifischen Gewicht des Seewassers hängt der Tiefgang der Seeschiffe eng zusammen, insofern als die Schiffe im süßen Wasser tiefer liegen als im Salzwasser. Bei Häfen in Strommündungen muß diesem Umstand bei der Tiefenbemessung der Hafenbecken Rechnung getragen werden.

Beträgt der Tiefgang der Seeschiffe

im Salzwasser . . .	5	6	7	8	9	10	12	15 m
so wird er im Süßwasser	5,14	6,17	7,20	8,22	9,25	10,28	12,34	15,42 „
also größer um . . .	0,14	0,17	0,20	0,22	0,25	0,28	0,34	0,42 „

Schlickgehalt. Aus den kleinsten, teils mineralischen, teils organischen Sinkstoffen des Seewassers entstehen in geschützten Buchten und Hafenbecken Ablagerungen, die als Schlick bezeichnet werden. Sie erschweren oft sehr die Offenhaltung der Häfen und geben zu bedeutenden Kostenaufwendungen Veranlassung, da sie in manchen Häfen jährlich die Höhe von mehreren Metern erreichen. Durch geeignete bauliche Maßnahmen, natürliche oder künstliche Spülung, Anordnung geschlossener Hafenbecken usw. sucht man die durch den Schlickfall verursachten Schwierigkeiten zu überwinden.

Zur Bestimmung der Größe des Schlickgehalts im Seewasser können die gleichen Vorrichtungen wie für die Salzgehaltermittlung benutzt werden. Aus den erhaltenen Wasserproben kann man durch Absetzenlassen und Verdampfen des Wassers den Schlickgehalt nach Abzug des Salzgehalts ermitteln.

Zur Bildung der Schlickablagerungen geben sowohl die von den Abbruchstellen der Küste als auch die aus den Flüssen stammenden feinsten tonigen Trübungen Veranlassung, zu denen sich noch eine ganze Anzahl organischer Beimengungen gesellt, unter denen die Kieselschalen von Diatomeen eine große Rolle spielen. Bei fortgesetzter Ablagerung werden die unteren Schichten durch die oberen verdichtet und bilden dann Klei, den wesentlichsten Bestandteil unserer fruchtbaren Marschländereien. Von der Herkunft der Tonteile und der Art und Menge der organischen Beimengungen hängt die Farbe des Schlicks ab; sie wechselt von schwarz über grünlich- oder bläulichgrau und über braun bis zu rot.

Frisch auf der Sohle der Hafenbecken abgelagerter Schlick hat zunächst noch die Eigenschaften einer Flüssigkeit und läßt sich durch Pumpenbagger am leichtesten beseitigen, erst allmählich gewinnt er an Zusammenhang und ist dann schwerer zu entfernen; daraus folgt, daß man gut tut, möglichst in regelmäßigen Zeiträumen die frischen Ablagerungen zu beseitigen. Die Ablagerungsstellen des Schlicks sind oft weit entfernt von den Ursprungsorten; bei der Beförderung des Schlicks an den Küsten spielen naturgemäß die vorherrschenden Küstenströmungen eine große Rolle.

Von den deutschen Häfen haben besonders die Nordseehäfen mit dem Schlickfall zu kämpfen; so ist der im Dollart vorhandene starke Schlickfall mit Veranlassung, die neuen Hafenerweiterungen in Emden als geschlossene Häfen anzulegen; auch im Jadebusen und an der Unterweser ist der Schlickfall ebenfalls bedeutend. Eine Berechnung der Größe des Schlickfalls kann aus den jährlich zur Erhaltung der vorschriftsmäßigen Tiefe erforderlichen Baggermengen vorgenommen werden; so ergibt sich für den Außenhafen in Emden und für die Hafeneinfahrten und den Fluthafen in Wilhelmshaven (Abb. 15) eine jährlich zu beseitigende Schlickschicht von 10 bis 11,5 m Höhe. Bei diesen Zahlen muß jedoch bedacht werden, daß der Schlickfall nur infolge der ständigen Baggerungen so groß erscheint; würde man den Schlick sich ruhig absetzen lassen, so erhielte man bedeutend geringere Werte, da mit der Zunahme der abgelagerten Schlickschicht die Höhe der darüberstehenden Wasserschicht und damit auch die Menge der zugeführten Sinkstoffe abnimmt.

Die Ablagerung der Schlickteile erfolgt überall, wo ruhendes Wasser ist, nicht nur in den Buchten der Küste, sondern auch in den großen Tiefen des Meeresgrundes.

An der Ostsee sind an den Küsten die Schlickablagerungen weniger fühlbar, da einerseits den meisten der großen Ströme in den Haffen große Ablagerungsbecken vorgelagert sind, vor der Oder das Stettiner Haff, vor der Nogat und dem Pregel das Frische Haff, vor der Memel das Kurische Haff, anderseits eine starke Küstenströmung eine glatte Küste mit nur wenig geschützten Stellen hergestellt hat.

Boden- und Grundwasseruntersuchungen, Probebelastungen. Sowohl für die Planung und Veranschlagung der Gründung der Hafenbauwerke und der zur Herstellung der Hafenbecken und Fahrrinnen erforderlichen Erd- und Baggerarbeiten als auch für die Beurteilung mancher anderen Fragen, z. B. die Veränderlichkeit der Küste usw., ist die Kenntnis der Untergrundverhältnisse von Wichtigkeit. In den meisten Fällen wird hierzu das zu erlangende geologische Material nicht ausreichen, so daß besondere Untersuchungen angestellt werden müssen.

Auf die am Lande zu verwendenden Verfahren zur Ermittlung der Beschaffenheit, Mächtigkeit, Aufeinanderfolge und Lagerung der Bodenschichten auf den für die Hafenbauten in Betracht kommenden Geländeflächen braucht hier nur hingewiesen zu werden, da sie dem Ingenieur allgemein bekannt sind.

Für die Untersuchung des Bodens unter den Wasserflächen sind verschiedene Möglichkeiten gegeben. Durch Einfetten der Höhlung an der Unterfläche der Lotgewichte lassen sich kleine Proben der Oberfläche des Meeresgrundes erhalten. Größere Mengen können durch Stielbagger, nach Art der Sackbagger oder der indischen Schaufel gestaltet, heraufgefördert werden. Sollen die Untersuchungen etwas tiefer vorgenommen werden, so können dazu größere Baggerapparate benutzt werden. Für geringere Tiefen würde sich ein Greifbagger eignen, für größere wohl nur ein Eimerkettenbagger in Frage kommen. In diesem Falle werden die Kosten der Untersuchungen nicht unerheblich, da durch den Bagger Löcher größeren Umfangs hergestellt werden müssen, um das Nachfließen des seitlichen Bodens zu verhindern. Immerhin wird bei einem derartigen Vorgehen die Sicherheit der gewonnenen Ergebnisse bei großen Bauten die für solche Probebaggerungen aufzuwendenden Mittel rechtfertigen und gering erscheinen lassen.

Durch Probebaggerungen größeren Umfangs läßt sich auch die Frage der Haltbarkeit von Böschungen neu herzustellender, tiefer Fahrrinnen entscheiden und ein Urteil über das zulässige Neigungsverhältnis gewinnen. Bei längerer Beobachtung einer gebaggerten Probestrecke durch regelmäßige Peilungen kann auch das Maß der zu erwartenden Versandungen oder Aufschlickungen bestimmt und dadurch eine Unterlage für die Höhe der Unterhaltungsarbeiten erlangt werden. Eine längere Probestrecke wurde beispielsweise auf dem Stettiner Haff hergestellt, um die Möglichkeit der Erhaltung einer vertieften Schiffahrtsrinne darzutun.

In der Nähe der Küste und in geschützten Buchten können die Bodenuntersuchungen auch mit den am Lande gebräuchlichen Geräten ausgeführt

werden, indem man das Bohrgerüst auf zwei verbundenen, verankerten Prähmen errichtet und von diesem aus die Bohrrohre in die Tiefe senkt. Zu beachten ist hierbei, daß die das Bohrrohr umgebende Plattform einen genügenden Spielraum um das Rohr herum frei läßt, damit es bei leichten Schwankungen der Fahrzeuge nicht abgebrochen wird. Ein Schleppdampfer ist bei derartigen Arbeiten im Falle des Eintritts stärkeren Wellenschlages zur Bergung der Fahrzeuge stets in Bereitschaft zu halten.

Mit der Ausführung der Bodenuntersuchungen werden zweckmäßig Beobachtungen des Grundwasserstandes verbunden. Den Grundwasserstand kann man sowohl in den Bohrrohren als auch in eigens dazu in den Boden getriebenen schwächeren Rohren von 5 bis 10 cm Durchmesser beobachten. Dabei wird es darauf ankommen, den Zusammenhang der Schwankungen des Grundwassers mit denen an der Küste oder in der Strommündung festzustellen. Ist ein solcher vorhanden, so werden Gründungsverfahren, die eine künstliche Senkung des Grundwassers in Aussicht nehmen, auszuschließen sein, während umgekehrt bei fehlender Abhängigkeit derartige Gründungen möglich sind. Ein hervorragendes Beispiel für solche Untersuchungen bilden die in Kuxhaven durch Hugo Lentz vor dem Bau des neuen Hafens angestellten Beobachtungen.[1]) Wie Abb. 144 zeigt, ergab sich in den Beobachtungsrohren 15, 268 und 555 m binnendeichs, daß der Grundwasserstand den in der Elbe auftretenden Flutschwankungen folgte, wenn auch die Flutgröße von 3,28 m in der Elbe mit zunehmender Entfernung auf 1,99, 1,08 und 0,43 abnahm und gleichzeitig eine Verspätung im Eintritt des höchsten und niedrigsten Wasserstandes stattfand. Diese Versuche zeigten, daß an eine Trockenlegung der Baugrube nicht zu denken war, da das ausgepumpte Wasser sich ständig aus der Elbe ergänzen würde.

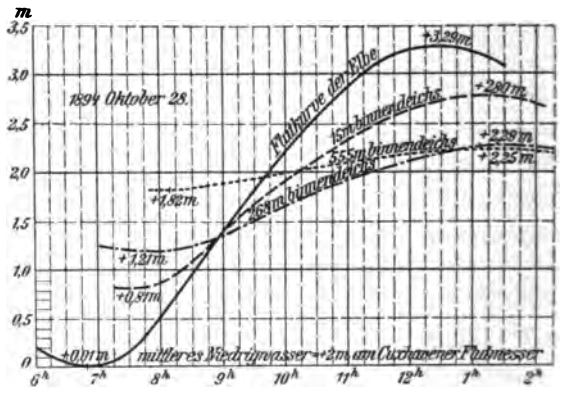


Abb. 144. Grundwasserschwankungen bei Kuxhaven in Beobachtungsrohren mit verschiedener Entfernung vom Ufer.

Dagegen stellte sich bei dem Bau der Nord-Ostseekanalschleusen in Holtenau bei dem Abpumpen des Grundwassers in einem Probeschacht heraus, daß eine Absenkung des Grundwassers in weitem Umfange möglich war. In der Tat wurde später mit drei tiefen Brunnen eine so bedeutende Senkung des Grundwassers während der Bauzeit bewirkt, daß die Herstellung der Betonsohlen der Schleusen fast völlig im Trocknen möglich war.

An Orten, wo wichtige Hafenbauwerke auf dem Festlande zu errichten sind und mit Wasserandrang zu rechnen ist, empfiehlt es sich daher, schon

[1]) Zeitschrift für Bauwesen 1898, S. 387 u. f.

bei den vorbereitenden Arbeiten Probebrunnen zu errichten und durch Pumpversuche und gleichzeitige Beobachtung des Erfolges in kleineren Rohren die Absenkbarkeit des Grundwassers zu untersuchen.

Zu den an die Bodenuntersuchungen anzuschließenden Vorarbeiten gehören die über die Tragfähigkeit des Baugrundes. Das einzige, zuverlässige und einwandfreie Ergebnisse zeitigende Verfahren besteht in der Ausführung von Probebelastungen. Auch hierfür können die bereits erwähnten Kuxhavener Arbeiten als Musterbeispiel und zur Anregung herangezogen werden.

Dort wurde an der Stelle in der Elbe, wo die Hafenköpfe versenkt werden sollten und bereits 11,5 m Wassertiefe vorhanden war, von einem verankerten Dampfer aus ein Pfahl auf den Boden gestellt und durch Eisen belastet; es ergab sich, daß der am Grunde vorhandene Kleiboden einem Druck von 4 kg/qcm zu widerstehen vermochte.

Bei einem anderen Versuche wurde in einem tiefen, durch Pumpen wasserfrei gehaltenen Schürfloche, eine eiserne Doppelröhre auf den Boden gestellt und nach Abzug der von dem Querschnitt getragenen Auflast die Reibung zwischen der eisernen Rohrwand und dem Klei zu 2300 kg/qm ermittelt; weiterhin wurde durch Belastung zweier Probepfähle die Reibung zwischen dem durchfahrenen blauen Sande und der Pfahlhaut, welche 3100 kg/qm betrug, und in gleicher Weise die Tragfähigkeit des in der Tiefe anstehenden Sandes bestimmt.

Bei der Ausführung von Probebelastungen durch Mauerwerk- oder Betonkörper empfieht es sich, die Abmessungen nicht zu klein, z. B. die Grundfläche mindestens zu 1 qm zu wählen.

Wirtschaftliche Vorarbeiten. Neben den technischen müssen bei jedem größeren Hafenbau wirtschaftliche Vorarbeiten angestellt werden, deren Hauptzweck es ist, das Verhältnis der aufzuwendenden Mittel zu den zu erwartenden Einnahmen oder Vorteilen festzustellen. Bei dem rein technischen Inhalt des vorliegenden Werkes kann auf diese Seite der Vorarbeiten nicht näher eingegangen werden, einige kurze Hinweise sollen jedoch auf die Hauptgesichtspunkte aufmerksam machen.

Die wichtigste Grundlage für die wirtschaftlichen Ermittlungen bilden die den Abschluß der technischen Vorarbeiten darstellenden Kostenanschläge für die Neubauten, die bei der Möglichkeit verschiedener Lösungen für jede derselben behufs Auffindung der bauwürdigsten aufgestellt werden müssen.

Außer den so erhaltenen erstmaligen Anlagekosten müssen sodann die zur dauernden Unterhaltung der Bauwerke, Erhaltung der nötigen Tiefe in den Hafeneinfahrten, Fahrrinnen und Hafenbecken und die zur rechtzeitigen Erneuerung vergänglicher Bauteile erforderlichen jährlichen Rücklagen (Abschreibungen) in Hundertteilen der Neubaukosten berechnet werden.

Hierzu kommen ferner die jährlichen Betriebskosten für Personen, für den Betrieb der Maschinen und endlich die zur Verzinsung und Tilgung der Anlagekosten erforderlichen Beträge.

Die Summe aller der jährlich für die Unterhaltung, für die Rücklagen zur Erneuerung vergänglicher Bauten, für den Betrieb und für die Verzinsung nebst Tilgung aufzuwendenden Mittel stellt die jährlichen Gesamtausgaben

dar. Diesen müssen die zu erwartenden Einnahmen gegenübergestellt werden, um die Wirtschaftlichkeit des ganzen Unternehmens zu beurteilen.

Bei Hafenneuanlagen werden die zu erzielenden Einnahmen nur auf Grund besonderer Verkehrsberechnungen zu schätzen sein, indem untersucht wird, für welche Absatzgebiete, Güterarten und Gütermengen der neue Platz infolge seiner Lage, seiner Verbindungen nach dem Hinterlande, seiner vielleicht vollkommeneren Lösch- und Ladeeinrichtungen, seiner Zugänglichkeit günstiger als benachbarte Häfen liegt und anziehend wirken wird. Sehr häufig stehen derartige Untersuchungen auf sehr unsicherer Grundlage.

Für die Erweiterungsbauten bestehender Hafenanlagen werden die genannten Unterlagen leichter und sicherer zu beschaffen sein, doch bleiben auch hier manchmal Überraschungen und Fehlschläge nicht aus, da der Verkehr sich bisweilen von Unwägbarkeiten abhängig zeigt, deren Voraussicht zu den Unmöglichkeiten gehört.

Bei den gewaltigen Aufwendungen, die heute Hafenbauten erfordern, wird selten eine Wirtschaftlichkeit der Anlagen in der Weise erwartet werden können, daß die Einnahmen die jährlichen Ausgaben übersteigen, also ein Überschuß erzielt wird oder auch nur ein Ausgleich zwischen den beiden Beiträgen eintritt. Viel häufiger werden die Einnahmen hinter den jährlichen Ausgaben zurückbleiben, in solchen Fällen werden die zur Rechtfertigung der Ausgaben führenden Gründe in der allgemeinen Hebung des Verkehrs und des Volkswohlstandes und in anderen schwer in Geldeswert auszudrückenden Vorteilen gefunden werden müssen, die erst mittelbar durch Erhöhung der Erwerbsfähigkeit weiter Kreise zur Wiedereinbringung der Auslagen führen.

Kapitel VII.

Die Baustoffe und ihr besonderes Verhalten im Seewasser.

Holz. — Natürlicher Verfall. — Zusammenstellung von Pfahlrosthöhen an der Nord- und Ostsee. — Zerstörung durch Schädlinge, der Bohrwurm und sein Vorkommen an den deutschen Küsten. — Andere Holzschädlinge. — Abnutzung. — Schutz durch Anstriche und Durchtränkung. — Schutz durch Umhüllung. — Anwendung ausländischer Holzarten.

Eisen. — Natürliche Steine. — Künstliche Steine. — Natürliche hydraulische Kalke und hydraulische Zuschläge. — Künstliche Zemente, Portlandzement. — Zuschlagstoffe zum Zement und Beton. — Mischungsverhältnisse. — Zusammenstellung von Portlandzement-, Mörtel- und Betonmischungen. — Andere künstliche Zemente. — Hydraulische Mörtel mit Zuschlagstoffen. — Zusammenstellung von Zement-Traß-, Puzzolan-Kalk- und Traß-Kalk-Mörtel- und Betonmischungen. — Ausführung der Mörtel- und Betonmischungen. — Verblendung von Betonkörpern.

Da eine Anzahl der im Wasserbau gebräuchlichen Baustoffe im Seewasser besondere Eigenschaften zeigt oder durch im Meere lebende Tiere angegriffen wird, so sollen im folgenden Abschnitt unter Voranstellung dieses Gesichtspunktes und unter Hintenansetzung ihrer sonstigen allgemein bekannten Eigenschaften einige beachtenswerte Angaben zusammengestellt werden.

Holz. An den deutschen Küsten kommt als Bauholz fast ausschließlich das der Kiefer, pinus sylvestris, und das der Eiche, quercus robur, in Betracht.

Ausländische Hölzer, wie Pitchpine, pinus rigida, Oregonpine, abies Douglaisi, werden seltener verwandt.

Natürlicher Verfall. Für die Haltbarkeit des Holzes bei den Seebauten ist einerseits die Lage des Holzes zum Wasserspiegel, anderseits das Vorkommen von holzzerstörenden Schädlingen maßgebend.

Holz, das der Seeluft ausgesetzt ist, hat nur eine begrenzte Dauer, und zwar hält sich das Splintholz weniger lange als der Kern.

Holz, das abwechselnd naß und trocken wird, unterliegt der Zerstörung am frühesten.

Nur ständig unter Wasser befindliches Holz hat eine unbegrenzte Dauer und ganz besonders dann, wenn es ganz von Sand oder Klei umhüllt wird. Es folgt daraus, daß Holz zu wichtigen Bauwerken nur dann angewandt werden sollte, wenn es möglich ist, es stets unter Wasser zu halten, wie es beim Pfahlrost in der Regel geschieht.

Hierbei hat sich der wichtige Umstand herausgestellt, daß es noch nichts schadet, wenn das Holz auf kurze Zeit aus dem Wasser hervorragt; es brauchen daher nicht die bekannten allerniedrigsten Wasserstände bei der Festsetzung der Höhenlage des Pfahlrostes zugrunde gelegt werden, die unverhältnismäßige Kosten durch schwierige Wasserhaltung verursachen würden. In dieser Beziehung sind Küsten mit Flut und Ebbe günstiger gestellt als die Nebenmeere ohne diese Naturerscheinung.

Während an der Ostsee die Rostebenen fast immer unter, höchstens auf Mittelwasserhöhe angeordnet werden, wie aus nachfolgender Zusammenstellung ersichtlich ist, da im östlichen Teil bei östlichen Winden und umgekehrt im westlichen Teil bei westlichen Winden niedrige Wasserstände von längerer Dauer eintreten können, liegen die höchsten Holzteile in den Flut- und Ebbegebieten vielfach höher, da die Fäulnisgrenze hier erheblich über dem mittleren Niedrigwasser liegt, wie dies in neuerer Zeit, z B. in Emden, Geestemünde usw., geschehen ist und aus der nachstehenden Zusammenstellung ersichtlich ist. Es liegt dies daran, daß der Wasserstand nur auf wenige Stunden tiefer abfällt und daher die dann freistehenden Holzteile, geschützt durch die daranhängende Algenschicht, nicht trocken werden können.

Aus der nachstehenden Zusammenstellung ist ersichtlich, daß an der Nordsee in einer großen Anzahl der preußischen Häfen die Pfahlrostebenen (Oberkante Rostbelag) mit 0,95 bis 1,90 m erheblich über dem mittleren Niedrigwasser angeordnet sind, dagegen sind in hamburgischen und bremischen Häfen die Rostebenen zum Teil nur wenig darüber, 0,04 bis 0,6 m, zum Teil, wie in Bremerhaven und Kuxhaven, bedeutend, — 2,0 m, darunter angeordnet worden. Hierbei mag die Absicht, sowohl eine möglichst massige, den großen Schiffen besser widerstehende Mauer zu erhalten als auch die bei dem ungünstigen Untergrund erforderlichen vielen, sehr langen Pfähle abzukürzen und den Rost nicht zu hoch zu stelzen, mitbestimmend gewesen sein, zumal die Ausführung der Mauern im Trocknen möglich war.

An der Ostsee sind die Rostebenen der neueren Kaimauern an den landeinwärts gelegenen Häfen in Stettin und Königsberg 0,74 bis 0,90 m, in Danzig und Lübeck nur 0,20 bis 0,35 m unter Mittelwasser angelegt worden,

Zusammenstellung der Höhenlage von Pfahlrostebenen.

a) In Hafenorten der Nordsee.

Orte	Mittleres Niedrigwasser	Höhenlage des Pfahlrostes	Höhenlage der Rostebene über oder unter gew. N.-W.	Bemerkungen
Emden . . .	— 2,87	— 1,40	+ 1,47	Kaimauer am Außenhafen.
Geestemünde .	± 0	+ 1,40	+ 1,40	Kaimauer am Fischereihafen.
Brunsbüttel . .	+ 18,50	+ 19,50	+ 1,00	Ostmole am Vorhafen.
Brunsbüttel . .	+ 18,50	+ 16,50	— 2,00	Ufermauer am Vorhafen.
Harburg . . .	— 0,60	+ 0,35	+ 0,95	Kaimauer im Becken I.
Glückstadt . .	— 1,47	+ 0,43	+ 1,90	Kaimauer am Binnenhafen.
Friedrichstadt .	— 2,58	— 1,50	+ 1,08	Kaimauer am Hafen.
Bremerhaven .	+ 0,26	+ 0,86	+ 0,60	Vorhafenmauer zum neuen Kaiserhafen
	+ 2,00	+ 0,00	— 2,00	Kaimauer im Kaiserhafen + 2,0 niedrigster Hafenwasserstand.
Hamburg . . .	+ 2,96	+ 3,50	+ 0,54	Kaimauer am Segelschiffhafen.
	+ 2,96	+ 3,00	+ 0,04	Kaimauer am Seeschiffhafen auf Kuhwärder.
Kuxhaven . .	± 0	— 2,00	— 2,00	Oberkante Spundwand und Pfahlköpfe

b) In Hafenorten der Ostsee.

	Mittelwasser		unter Mittelwasser	
Kiel	± 0	— 0,10	— 0,10	Kaimauer am neuen Ausrüstungshafen.
Lübeck . . .	— 0,15	— 0,50	— 0,35	Oberkante Spundwand.
Stettin . . .	+ 0,65	— 0,22	— 0,87	Kaimauer am Dunzig.
Stettin . . .	+ 0,65	— 0,19	— 0,84	Kaimauer am neuen Kaiserhafen.
Stolpmünde . .	± 0	— 0,06 bis — 0,10	— 0,06 bis — 0,10	
Kolberg . . .	± 0	— 0,18	— 0,18	Ufermauer am Bauhofe und am Fischerbootshafen zu Kolberg, ebenso hoch Spundwand der Uferbefestigung; bei Bohlwerken in Kolberg und Rügenwalde Oberkante Spundwand und Spundwandzange auf Mittelwasserhöhe.
Rügenwalde . .	± 0	— 3,00	— 3,00	Ufermauer am Binnenhafen, wasserseitige Spundwand — 1,28.
Neufahrwasser .	± 0	— 0,50 bis — 1,30	— 0,50 bis — 1,30	Bei verschiedenen Ufermauern.
Danzig . . .	± 0	— 0,10	— 0,10	Ufermauer am Kaiserhafen.
Danzig . . .	± 0	— 0,20	— 0,20	Oberkante Spundwand und Zange bei verschiedenen Bollwerken, teilweise auch auf Mittelwasserhöhe.
Pillau	+ 2,40	+ 2,30	— 0,10	Ufermauer am Hinterhafen, ebenso Spundwand und Zangen bei Bollwerken.
Königsberg . .	+ 2,35	+ 1,45	— 0,90	Packhofskaimauer.
Königsberg . .	± 0	— 0,74	— 0,74	Neue Ufermauer am Innenhafen hintere Spundwand — 0,30 m.
Memel	± 0	— 0,10 bis — 0,15	— 0,10 bis — 0,15	Bei verschiedenen Ufermauern; Spundwände auf Mittelwasserhöhe abgeschnitten, haben sich sehr gut gehalten.

an den Küstenhäfen ist in der Mehrzahl der Fälle die Höhe des Mittelwassers oder 10 bis 20 cm darunter als ausreichend angesehen worden.

Zerstörung durch Schädlinge; der Bohrwurm und sein Vorkommen an den deutschen Küsten. In den vorstehenden Ausführungen wurde vorausgesetzt, daß an den betreffenden Orten im Seewasser keine

Schädlinge vorkommen, die freistehendes Holzwerk zerstören. Solche sind aber in den meisten Meeren vorhanden und zwingen dazu, entweder freistehendes Holz mit besonderem Schutz zu versehen oder besonders widerstandsfähige Holzarten zu verwenden oder endlich Holzbauteile ganz zu vermeiden.

Von den holzzerstörenden Bohrwürmern ist der bekannteste der Pfahl- oder Schiffswurm (teredo navalis). Als weißgrauer, walzenförmiger Wurm (Abb. 145) erreicht er eine Länge von 20 bis 30 cm bei einem Durchmesser von 1 bis 2 cm; an seinem Kopfe befinden sich zwei kugelige Schalen und feine schwarze Zähnchen, die als Bohrwerkzeuge dienen, das hintere Ende des Wurmes läuft in zwei lange Atemröhren aus.

Abb. 145. Pfahl- oder Schiffswurm, terede navalis.

Vermutlich gelangen die Eier des Bohrwurms im schwimmenden Zustande an das Holz und haften hier so lange, bis sich der Wurm entwickelt und sich in das Holz hineinzufressen beginnt. Während dieser Arbeit nimmt er an Größe zu und ändert den anfänglich senkrecht zur Außenfläche des Holzes gerichteten Verlauf seines Ganges allmählich in eine mit der Faser gleichlaufende Richtung um. Mit zunehmender Größe des Tieres wächst auch der Durchmesser der Gänge. Eigentümlich ist, daß die einzelnen Gänge verschiedener Tiere, obgleich sie oft sehr dicht aneinander liegen, sich nie kreuzen. Auf der Innenseite sind die Gänge mit einer glatten Kalkausscheidung des Tieres bekleidet.

Die Teredos zerstören mit geringen, unten genannten Ausnahmen fast alle Holzarten, sowohl die weichen als auch die harten Teile; ihr Hauptwirkungsbereich liegt zwischen dem Niedrigwasser der Springtiden und dem Hochwasser der Nipptiden, doch führen sie auch innerhalb des Holzes ihre Gänge bei mäßigen Wassertiefen bis zur Sohle hinab, aber nur wenig in den Boden hinein. Sie gedeihen um so besser und erreichen um so größere Abmessungen, je wärmer das Klima ist; in den indischen und südchinesischen Gewässern soll eine Abart (teredo gigantea), eine Länge bis zu 1,80 m und einen Durchmesser von 5 bis 7 cm erlangen, sich jedoch hauptsächlich am flachen Wasser in den Mangrovegehölzen am Ufer aufhalten.

Über die Lebensbedingungen des Bohrwurms ist festgestellt, daß er reines Seewasser bevorzugt und schlickhaltiges oder durch Abwässer verunreinigtes Wasser vermeidet; auch scheint seine Lebensfähigkeit an den durchschnittlichen Salzgehalt der großen Meere gebunden zu sein. Er tritt z. B. an der deutschen Nordseeküste, an der holländischen, französischen und englischen Küste auf, ist aber nur im westlichen Teile der Ostsee, an der schleswig-holsteinischen Küste, anzutreffen. Über seine Verbreitung an der Nordseeküste konnte festgestellt werden, daß er in Emden erst neuerdings aufgetreten und noch nicht ermittelt ist, ob er sich besonders schädlich entwickelt, daß er dagegen in Norden und Norderney so verbreitet ist, daß die Anwendung anderer Baustoffe als Holz erwogen wird. In der Jade tritt der

Bohrwurm sehr stark auf;[1]) in Wilhelmshaven hat er sich im Binnenhafen gezeigt, z. B. an einem Pfahl an der ersten Torpedobrücke im Neuen Hafen (Abb. 15), und ferner an den Spundwandköpfen vor dem Trockendock III. Auch im Wasserbaubezirk Husum ist er auf Sylt, auf Amrum und an anderen Orten in den Pfahlwerken der Landungsbrücken festgestellt worden. An der Ostsee ist er an der Küste des Bezirks Flensburg überall vorhanden und besonders stark im Aarösund und im Alsensund gefunden worden, wo das Ostseewasser infolge der Strömungsverhältnisse besonders rein und klar ist. In der Kieler Bucht dagegen trat er vor einigen Jahren auf, ist jedoch in neuerer Zeit nicht mehr beobachtet worden, ein Umstand, den man der zunehmenden Verunreinigung der Bucht, insbesondere durch Masut, zuschreibt.

Andere Holzschädlinge. Auch eine Verwandte der Teredos, die Bohrmuschel (pholas dactylus), die sich zwar vorwiegend in Sand- und Kalkgesteinen aufhält, geht bisweilen in die Pfahlwerke der Seebauten und verursacht durch die von ihr hervorgerufenen Löcher Schaden.

Außer diesen Schädlingen, die als Pholodidaeen den Mollusken angehören, verursacht seit 1886 an den holländischen Küsten ein zur Gattung der Asseln gehöriges Wesen (limnoria terebrans oder lignorum)[2]) oft durch massenhaftes Auftreten bedeutenden Schaden. Die Limnoria ist ein weißer Wurm von der Größe eines Reiskorns, der sich vom Holze nährt. Er greift das Holz von der Oberfläche aus an und zerstört alle Teile des Holzes von der Sohle bis zur Oberkante. Seine Wirkung erstreckt sich in einem Jahre etwa auf eine Schicht von 1 cm Stärke.

Ähnliche Eigenschaften hat Chelura limnoria, doch bevorzugt sie mehr die weicheren Holzteile und reines Seewasser, während die Limnoria unabhängiger von der Beschaffenheit des Seewassers ist.

An den Uferbefestigungen Hollands hat sich in neuerer Zeit nach den Mitteilungen A. v. Horns ein weiterer Schädling in der Larve eines Käfers

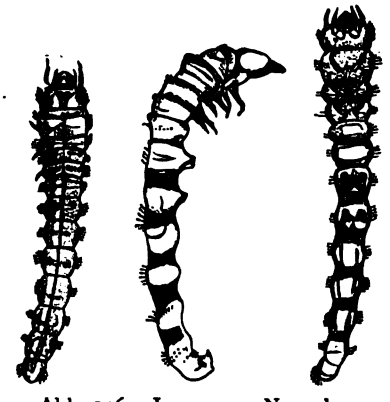


Abb. 146. Larve von Nacerdes melanura, vergrößert.

Abb. 147. Nacerdes melanura in verschiedenen Entwicklungsstufen, vergrößert.

Nacerdes melanura bemerkbar gemacht,[3]) der das Holz der Pfahlwerke haupt-

[1]) Vergl. Zeitschrift des Hannoverschen Architekten- und Ingenieur-Vereins 1891, S. 155.
[2]) Zentralblatt der Bauverwaltung 1886, S. 266.
[3]) Zentralblatt der Bauverwaltung 1891, S. 55.

sächlich über Hochwasser, und zwar 10 cm unter bis 30 cm über dem Erdboden angreift. Eine Darstellung der gelblichweißen Larve von verschiedenen Seiten gibt Abb. 146 und des auf der Oberseite rötlichgelben und unten schwärzlichen Käfers gibt Abb. 147; erstere wird 20 bis 30 mm letzterer 8 bis 14 mm lang.

Unter den in fremden Ländern auftretenden Holzzerstörern ist noch die weiße Ameise (termites) zu erwähnen, die aus dem Boden herausragendes Holz angreift und dabei aber die Außenseite sorgfältig schont.

Abnutzung. Auch bei dauernd unter Wasser befindlichen Holzteilen macht sich in stark fließendem Wasser eine allmähliche Zerstörung bemerkbar, indem nach und nach einzelne Fasern abgelöst werden.

Mehr noch tritt ein Verbrauch und Angriff des Holzes beim Eisgange ein, indem treibende Eisschollen durch ihre scharfen Kanten an den von ihnen berührten Pfahlwerken die Holzfasern abscheuern; durch Eistreiben werden oft in wenigen Jahren dicke Pfähle meist in Höhe des Mittelwassers völlig zerstört. Die gleiche Erscheinung wird auch an Waldbäumen an der stromauf gerichteten Seite beobachtet, wenn starke Überschwemmungen mit Eistreiben verbunden sind. Über die mechanische Abnutzung des Holzes an Anlegestellen, Leitwerken, auf Brückenbelägen usw. ist nichts weiter zu bemerken.

Die oben zusammengestellten, mit der Benutzung des Holzes bei Seebauten in den großen Meeren verbundenen Übelstände haben zu einer großen Anzahl von Schutzmaßnahmen geführt, von denen sich jedoch nur wenige wirklich bewährt haben.

Schutz durch Anstriche und Durchtränkungen. An der Luft befindliches Holz kann längere Zeit vor dem natürlichen Verfall durch Anstriche, wie Holzteer, Karbolineum, Ölfarbe usw, geschützt werden.

Auch hat das Durchtränken mit Kupfervitriol, Sublimat oder Zinkchlorid sich als brauchbar erwiesen, wie von den Eisenbahnschwellen und Telegraphenstangen her genugsam bekannt ist.

Als Schutz gegen Bohrwürmer dagegen haben sich die verschiedensten versuchten Anstriche aus Teer, Karbolineum, Paraffin unter Beimengung von klein gestoßenem Glas usw. und auch die genannten Durchtränkungen nicht bewährt.

Dagegen hat sich das Durchtränken von Kiefern-, Fichten- und Eichenholz mit Kreosot, wenn es sachgemäß und sorgfältig ausgeführt wurde, als ein lange vorhaltender Schutz herausgestellt.

Das zur Verwendung gelangende Kreosot, aus der Destillation von Holzteer gewonnen, darf nicht zu dickflüssig sein und ist am geeignetsten, wenn es 30 bis 40 vH. Naphthalin und 4 bis 5 vH. Karbolsäure enthält. Die Durchtränkung erfolgt in großen, luftdicht verschließbaren Kesseln. In diesen wird das Holz zunächst auf 60 bis 110° erwärmt und darauf etwa eine Stunde lang einer Luftverdünnung bis zu $^1/_3$ Atmosphäre ausgesetzt. Sodann wird das entsprechend vorgewärmte Kreosot unter einem Druck von 8 bis 10 Atmosphären in den Kessel gepreßt und bis 4 Stunden unter Warmhaltung darin belassen. Die nach Entfernung des Kreosots langsam abgekühlten Hölzer haben dann je nach ihrer Porigkeit 300 bis 450 kg Kreosot auf 1 cbm Holz aufgenommen. Von Wichtigkeit

ist, daß das zu durchtränkende Holz vollständig einschließlich aller Zapfen und Bolzenlöcher fertig bearbeitet ist, da die Durchtränkung am weitesten von den Hirnholzflächen aus erfolgt, weniger weit an den Langholzseiten eindringt. Bei nachträglicher Bearbeitung würden weniger stark durchtränkte Stellen freigelegt werden und wenig geschützte Angriffspunkte darstellen. Bei französischen Versuchen hat sich ferner herausgestellt, daß die Festigkeit des Holzes durch Kreosot nicht leidet, sondern sogar zunimmt Im ganzen genommen, hat sich das zwar kostspielige Verfahren als brauchbar gezeigt und die damit behandelten Hölzer 20 bis 30 Jahre gegen die Angriffe der Bohrwürmer geschützt.

Über die Wirksamkeit einer Sotor genannten Durchtränkungs- und Anstrichflüssigkeit, die in Deutschland auf Sylt und in Sonderburg, in Österreich in Pola im Jahre 1904 zur Anwendung gelangte, liegen abschließende Urteile noch nicht vor.

Schutz durch Umhüllung. In anderer Weise ist ein Schutz des gefährdeten Holzes durch Umhüllung mit Metall-, Ton- oder Eisenbetonrohren versucht worden.

Gut bewährt hat sich eine völlige Umnagelung der Holzteile vom Hochwasser ab bis unter die Sohle mit dünnen Kupferblechen und Kupfernägeln. Bei diesem teuren Schutzmittel kommt es aber sehr darauf an, daß ein völlig dichter Schluß erreicht wird, denn durch die kleinsten Fugen dringen die Bohrwürmer in jungem Zustande und wenn sie erst im Inneren des Holzes sind, nützt die beste Kupferumhüllung nichts.

Billigere Umhüllungen aus Zink haben keinen besonderen Wert.

Umkleidungen mit Tonrohren oder Eisenbetonmänteln sind an solchen Stellen anwendbar, wo keine Stöße, die sie zertrümmern, zu fürchten sind. Nach der Umhüllung der Pfähle müssen die Hohlräume zwischen dem Holz und dem Mantel mit reinem Sand oder Beton vollkommen ausgefüllt werden. Die schützenden Hüllen werden entweder gleich beim Bau angebracht und dann, aus einem Stück bestehend, über die Pfähle herübergeschoben oder sie werden nachträglich umgelegt und werden dann aus zwei halbzylinderförmigen Teilen zusammengesetzt. In diesem Falle ist es auch später möglich, beschädigte Teile auszuwechseln.

Umhüllungen der letzteren Art werden viel an den Küsten Nordamerikas ausgeführt.

Bei Ufermauern hat man mehrfach den Pfahlrost dadurch gegen Angriffe der Bohrwürmer geschützt, daß man, z. B. in Kopenhagen, vor der vordersten Pfahlreihe einen Eisenbetonvorhang von 6 cm Stärke anbrachte oder, in Kiautschou, an der Seeseite vor dem Rost eine Eisenbetonspundwand anordnete.[1]) Auch die in Kuxhaven erfolgte Betonumhüllung der vordersten Pfahlreihen ist hierher zu rechnen.

Ein anderer, an französischen, holländischen, dänischen und englischen Küsten mehrfach angewandter Schutz besteht in der Benagelung der Holzteile in der gefährdeten Zone mit breitköpfigen Eisennägeln. Durch den Einfluß des Seewassers rosten die Nägel sehr schnell und umgeben das Holz

[1]) Vergl. Handbuch für Eisenbetonbau, 1. Aufl., 3. Band, I. Teil, S. 66 bis 69; 2. Aufl., 3. Band, Kapitel I. Berlin 1910. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn.

mit einer Rostschicht, die den Würmern nicht behagt. Auch hierbei ist eine lückenlose Nagelung und ferner eine sorgfältige Instandhaltung des Nagelpanzers eine wichtige Vorbedingung für den Erfolg. Von den in Frankreich angewendeten Nägeln gehen 240 Stück auf 1 kg; sie haben quadratische Köpfe von 15 bis 16 mm Seite und werden in Abständen von 2 cm von Mitte zu Mitte genagelt. In Holland verwendet man Nägel mit runden Köpfen von 3 cm Durchmesser, die dicht nebeneinander eingeschlagen werden; die zwischen je vier Nägeln verbleibenden Zwickel werden durch eine zweite Nagelreihe überdeckt.

Anwendung ausländischer Holzarten. Ein weiteres Mittel zur Überwindung der für die Anwendung des Holzes bei Seebauten bestehenden Schwierigkeiten besteht in der Benutzung besonderer ausländischer Holzsorten. Von diesen ist das Greenheart (nectandra rodioei) aus Guyana eines der bekanntesten. Es ist sehr hart und enthält einen den Seewürmern widerlichen giftigen Saft. Seine Anwendung bei Seebauten, sowohl zu Schleusentoren als auch bei Pfahlwerken, ist schon alt und meist von Nutzen gewesen, nur selten hat man bei lange Zeit in Wasser befindlichen Hölzern durch Seewürmer angegriffene Stellen gefunden. Bei der Anwendung des Greenheart zu Rammpfählen ist zu beachten, daß es ziemlich spröde ist und zweckmäßig oben und in Abständen von etwa 2 m mit eisernen Klammern versehen wird, um ein Aufplatzen zu verhindern. Den mit Greenheart umgehenden Arbeitern ist Vorsicht zu empfehlen, da durch Splitter dieses Holzes erzeugte Wunden schlecht heilen.

Eine eigenartige Erfahrung hat Shield in der Algoabai mit Greenheart gemacht. Dort wurde eine aus kreosotierten Hölzern hergestellte, von Bohrwürmern angegriffene Landungsbrücke allmählich in Greenheartholz umgebaut. Solange noch von dem alten Holz etwas vorhanden war, blieb das Greenheartholz völlig von Angriffen verschont, nachdem aber alles alte Holz entfernt war, wurde auch das Greenheart von dem Teredo angenommen; eine ähnliche Erfahrung machte er auch mit anderen Hölzern im Hafen von Holyhead. Diese Erfahrung legt die Vermutung nahe, daß der Bohrwurm harte Hölzer erst aufsucht, wenn es ihm an Nahrung fehlt; man könnte daher wichtige Holzteile vielleicht dadurch schützen, daß man in der Nähe weniger wichtige, leicht auswechselbare Teile aus weicherem Holze herstellt und den Würmern gewissermaßen als Futter zur Ablenkung vorwirft.

In neuerer Zeit hat sich ferner das Holz verschiedener Eukalyptusarten als für Seebauten sehr geeignet gezeigt, und zwar sowohl wegen der zu erhaltenden großen Längen und Querschnitte als auch wegen seiner Widerstandsfähigkeit gegenüber den Bohrwürmern. In besonders großem Umfange wurde zu den Gerüsten bei dem Hafen von Dover das aus Tasmanien stammende Holz des Blaugummibaumes (eucalyptus globulus) und das Stringy Barkholz (eucalyptus obliqua) verwandt. Beide Holzarten widerstanden dem Bohrwurm sehr gut und hatten ferner den Vorteil, daß sie schwerer als Wasser waren und daher bei den dortigen großen Wassertiefen leicht unter die Ramme zu bringen waren, wozu leichtere Hölzer erst mit Eisen beschwert werden mußten.

Ebenfalls gute Eigenschaften weist das in Australien wachsende Jarrahholz (eucalyptus marginata) auf, doch kommt es bei diesem Holz sehr auf den Ursprungsort an, es ist am besten, wenn es auf felsigem Boden, namentlich bei Perth in Westaustralien, gewachsen ist, dagegen taugt es weniger, wenn es von Sandboden stammt. Jarrahholz (nicht zu verwechseln mit zu Eisenbahnschwellen in den Tropen gebräuchlichem Yarrah [eucalyptus rostrata]) ist, ähnlich wie Greenheart, sehr hart und spröde. Beim Einrammen empfehlen sich auch hier eiserne Bänder und schwere Rammbären sowie geringe Fallhöhen.

Alle angegebenen Mittel zur Vermeidung der Bohrwurmzerstörungen an Holzbauten im Seewasser sind, worauf noch hingewiesen werden mag, nicht unfehlbar und nicht von unbegrenzter Dauer; bei sehr lebhaftem Vorkommen der Schädlinge ist die Anwendung von Bauteilen aus anderen Stoffen, Eisen, Beton usw., vorzuziehen.

Eisen. Sämtliche Eisenarten werden im Seewasser durch Rostbildung angegriffen, kommen sie mit anderen Metallen in leitende Verbindung, so entstehen auch noch auf galvanischem Wege Zersetzungen. Endlich werden Eisenteile noch durch Abnutzung und durch Abscheuern, z. B. durch bewegten Sand, zerstört. In den allermeisten Fällen ist die Zerstörung des Eisens nur eine sehr langsame, so daß aus Eisen hergestellte Seebauten bei sachgemäßer Herstellung und Unterhaltung viele Jahrzehnte halten, nur gewähren sie keine unbegrenzte Dauer.

Es hat sich herausgestellt, daß die Haltbarkeit des Eisens im Seewasser sowohl von der Lage des Anwendungsortes als auch von der Zusammensetzung des Eisens abhängt.

Bezüglich des ersteren Umstandes ist hervorzuheben, daß Eisen am stärksten in denjenigen Lagen rostet, in denen es abwechselnd naß und trocken wird und mit salzhaltiger Luft in Berührung kommt. Ferner wird Eisen an Stellen mit stark bewegter See stärker angegriffen als an geschützten Orten; man erklärt dies damit, daß durch die infolge des Wellenanpralls eintretende heftige Erschütterung die am Eisen haftenden Oxydschichten losgerüttelt werden, abfallen und immer frisches Eisen dem Angriff des Seewassers aussetzen.

Eine gewisse Rolle mag hierbei auch der Umstand spielen, daß das Eisen an Stellen mit bewegterer See mit lufthaltigerem, also sauerstoffreicherem Wasser in Berührung kommt.

Nach der Zusammensetzung des Eisens hat sich ergeben, daß die kohlenstoffärmeren und reineren Eisensorten, ferner die härtesten und dichtesten am besten den Angriffen widerstehen, während die kohlenstoffreicheren und weicheren nicht nur schneller angegriffen werden, sondern auch innere Zersetzungen und Einbußen an Festigkeit und Dichte erleiden.

Hiernach widersteht Schmiedeeisen besser als Stahl und dieses wieder besser als Gußeisen; bezüglich der beiden ersteren ist auch manchmal das umgekehrte festgestellt worden.

Über Gußeisen lauten jedoch die Urteile namhafter französischer und englischer Ingenieure gleich ungünstig. Es leidet um so mehr, je poriger es

ist. Thomas Stevenson[1]) gibt in seinem Werke über Hafenbau an, daß das Gußeisen am Bell Rock-Leuchtturm in 100 Jahren etwa eine Abnahme um 2,5 cm zeigte und daß bei einem herausgenommenen, untersuchten Stück sowohl das spezifische Gewicht als auch die Festigkeit sich vermindert hatte (ersteres um rund 25 vH., letztere sogar um 35 vH.). Noch stärkere Abnahmen der ursprünglichen Eigenschaften stellte M. Lidy[2]) bei Gußeisenstücken von der Reede in Brest fest, die etwa 100 bis 240 Jahre im Seewasser gewesen waren. Vielleicht spielt bei diesem Verhalten des Gußeisens im Seewasser einmal seine infolge des größeren, nicht gelösten Kohlenstoffgehalts bedingte, größere Porosität und dann auch die Beimengung anderer Metalle durch Erzeugung galvanischer Zersetzungen eine Rolle.

Bei Schmiedeeisen und Stahl sind die beobachteten Zerstörungen erheblich geringer. Nach Versuchen von T. Andrews[3]) ergab sich:

	durch galvanische Zersetzung eine Abnahme um	durch einfache Zersetzung eine Abnahme um
für Schmiedeeisen .	0,06 mm im Jahr	0,011 mm im Jahr
„ Stahl . .	0,03 bis 0,045 „ „ „	0,014 „ „ „
„ Gußeisen . . .	0,2 „ „ „	0,017 „ „ „

Shield beobachtete an einem in der Algoabay gestrandeten Schiffe, das dem heftigsten Seegange und ständigem Wasserwechsel ausgesetzt war, Abnahmen von 0,16 bis 0,4 mm in einem Jahre.

Wenn auch diese Werte als Einzelbeobachtungen keine allgemeine Bedeutung besitzen, so geben sie doch immerhin einen ungefähren Anhalt für die Größe der Zerstörungen; daß ferner die Abnahme des Eisens bei den Versuchen in ruhigem Wasser sich geringer herausstellte als an dem dem freien Seegange ausgesetzten stimmt mit den oben gemachten Ausführungen überein.

Zur Vermeidung der galvanischen Zersetzungen ist es wichtig, nur Eisenstücke möglichst gleicher Zusammensetzung zu einem Bau zu verwenden und ferner die Verbindung verschiedener Metalle zu vermeiden. Rohes Eisen hält sich ferner besser als bearbeitetes Eisen.

Da für viele Fälle des Seebaues die Anwendung des Eisens vor anderen Baustoffen mannigfache Vorteile aufweist, so ist man bestrebt, durch Schutzmittel den zerstörenden Einflüssen des Seewassers entgegenzuwirken. Auf die Dauer kann das naturgemäß nur bei den dauernd zugänglichen Teilen gelingen, also den so hoch über Niedrigwasser der Tidemeere bezw. M.-W. der Nebenmeere gelegenen Teilen, daß zu erneuernde Anstriche noch trocken werden. Für die dauernd unter Wasser liegenden Teile ist nur eine einmalige Schutzbehandlung vor dem Einbau möglich. Am richtigsten wäre es, Eisenteile nur zugänglich anzuordnen, aber häufig zwingen andere Gründe, leichte Aufstellbarkeit, geringe Angriffsfläche usw. auch die Teile unter Wasser aus Eisen herzustellen und die damit verbundenen Nachteile in Kauf zu nehmen.

Als Schutzmittel für Eisen bei Seebauten kommen Anstriche, Verzinkung und Umhüllung mit Beton in Betracht.

---

[1]) Thomas Stevenson, Harbors, S. 47.

[2]) C. de Cordemoy, Les ports modernes, S. 112.

[3]) Shield, Principles usw., S. 139.

Anstriche haben eine begrenzte Dauer und sind daher nur für Teile nützlich, die zeitweise aus dem Wasser herauskommen, so daß sie nachgesehen und erneuert werden können. Als Anstrichmittel finden hauptsächlich Steinkohlenteer, Blei- oder Eisenminium und andere Verwendung. Steinkohlenteer hat sich gut bewährt; er haftet am besten, wenn das Eisen vor dem Eintauchen in den heißen Teer stark angewärmt wird. Steinkohlenteer ist auch für dauernd unter Wasser befindliche Teile sehr geeignet, wenn es möglich ist, sie in größeren Zwischenräumen herauszunehmen und auszubessern; so hat sich Steinkohlenteer als Anstrich für den eingetauchten Teil von Schleusentoren, Dockverschlüssen und Baufahrzeugen bewährt.

Die übrigen Farben sind weniger ausdauernd; während Bleimennige im Binnenlande zum Eisenanstrich allgemein verwandt wird, hat man an der See häufig aus Besorgnis vor galvanischen Zersetzungen das sonst weniger gute Eisenminium benutzt. Bei Versuchen an deutschen Küsten haben sich an eisernen Schiffsböden nach Steinkohlenteer noch Siderosthen, Rahtjens braune Komposition und Nauton als Schutzmittel einigermaßen gehalten.

Für dauernd unter Wasser befindliche Eisenstücke kommt als Hauptschutzmittel nur die Verzinkung in Betracht; sie bildet einen guten Schutz, wenn sie einen gleichmäßig starken, das Eisen lückenlos umhüllenden Überzug bildet. Die Verzinkung wird hergestellt, indem das sorgfältig gereinigte, vorgewärmte Eisen in fertig bearbeitetem Zustande in geschmolzenes Zink getaucht wird. Nachträgliche Bearbeitung darf natürlich an den verzinkten Stücken nicht mehr stattfinden, da sie eine Verletzung der Zinkhaut bewirkt. Eine Verbindung verzinkter Bauteile durch Niete ist nicht zweckmäßig, weil eine nachträgliche Verzinkung nur sehr schwierig möglich ist. Diese Gesichtspunkte müssen bei dem Entwurf der für Seebauten bestimmten Eisenwerke berücksichtigt werden. Wird die Zinkhaut verletzt oder kommt sie mit anderen Metallen durch das Seewasser in leitende Verbindung (z. B. mit dem Eisen der Niete), so entstehen galvanische Zersetzungen, die starke Zerstörungen herbeiführen. Infolgedessen bildet die Verzinkung der Eisenteile für Seebauten ein etwas fragwürdiges Schutzmittel, da es schwer möglich sein wird, größere Eisenbauten ohne Verletzung der Zinkhaut herzustellen.

In neuerer Zeit richtet sich daher die Aufmerksamkeit der Hafenbauingenieure auf ein anderes Schutzmittel, das in der Einhüllung der dem Seewasser und der Seeluft ausgesetzten Eisenteile mit Beton besteht. Man geht hierbei meistens noch einen Schritt weiter, indem man den Beton nicht nur als schützende Hülle betrachtet, sondern nach den Regeln der Eisenbetonbauweise als mittragenden Bauteil benutzt. Bei der Neuheit der bisher ausgeführten Eisenbetonbauwerke an der offenen See und der mangelnden Erfahrung über das Verhalten des Betons im Seewasser kann über den Beton als Rostschutzmittel noch nicht abschließend geurteilt werden; einige beachtenswerte Winke sind nachstehend in dem Abschnitt über Beton gegeben[1]).

Natürliche Steine. Steine bilden den Hauptbaustoff bei Seebauten, sei es, daß sie in natürlicher Gestalt in großen Stücken, sei es, daß sie zur

[1]) Vergl. auch Handbuch für Eisenbetonbau, 2. Aufl. Bd. IV. Berlin 1910, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn.

Bildung künstlicher Blöcke verwandt werden. Die an sie zu stellenden Anforderungen sind in beiden Fällen die gleichen, sie müssen ein möglichst hohes spezifisches Gewicht, große Härte und Wetterbeständigkeit besitzen.

Mit dem hohen spezifischen Gewicht hängt die Forderung der Dichtigkeit eng zusammen; die Porigkeit und damit die Aufnahmefähigkeit für Wasser muß möglichst gering sein.

Je höher das spezifische Gewicht der Steinblöcke ist, um so geringer ist einerseits verhältnismäßig ihr Gewichtsverlust im Wasser und anderseits ihre Oberfläche im Vergleich zum Gewicht. Je kleiner aber die Oberfläche gegenüber dem Gewicht ist, um so größere Kraft gehört dazu, die Blöcke zu bewegen.

Es verliert beispielsweise ein Granitblock von 1 cbm Größe mit dem spezifischen Gewicht 3, also dem wirklichen Gewicht 3000 kg, im Wasser 1000 kg an Gewicht, behält also noch 2000 kg; ein Betonblock von 1 cbm Größe wiegt über Wasser 2000 kg, unter Wasser 1000 kg; vergleicht man nun beide Blöcke, so ergibt sich für das Gewicht beider Blöcke

$$\text{über Wasser ein Verhältnis von } \frac{3000}{2000} = \frac{3}{2} = \frac{1{,}5}{1},$$

$$\text{unter „ „ „ „ } \frac{2000}{1000} = \frac{2}{1},$$

d. h. ein Granitblock ist unter Wasser doppelt so schwer als ein Betonblock gleicher Größe, über Wasser dagegen nur einundeinhalbmal so schwer. Noch mehr tritt der Vorteil spezifisch schwerer Steine zutage, wenn man gemäß nachfolgender Überlegung die von dem Wellenstoß getroffene Oberfläche mit in Betracht zieht.

Ein Granitwürfel von 1 cbm Größe und 3000 kg Gewicht über Wasser wiegt unter Wasser 2000 kg und besitzt eine Angriffsfläche von 1 qm; ein Betonblock dagegen von gleichem Gewicht hat eine Größe von 1,5 cbm und bildet einen Würfel von 1,145 m Seitenlänge. Sein Gewicht unter Wasser ist nur 1500 kg und die Angriffsfläche hat 1,31 qm Fläche. Nimmt man nun an, daß die Wellen einen Stoß von 30 t/qm ausüben, so entfällt auf den Granitblock ein Stoß von 30 t, auf den Beton $1{,}31 \cdot 30 = 39{,}3$ t, und es stehen gegenüber

im Granitblock 1000 kg Gewicht einem Stoß von 15 t,

„ Betonblock 1000 „ „ „ „ „ $\frac{39{,}3}{1{,}5}$ oder 26,2 t,

d. h. außer dem Nachteil des verhältnismäßig größeren Gewichtsverlustes unter Wasser erleidet ein spezifisch leichterer Stein auch noch den Nachteil, daß er eine verhältnismäßig größere Oberfläche hat und infolgedessen dem Wellenstoße stärker ausgesetzt ist.

Außer hohem Gewicht müssen die zu Seebauten verwendeten Steine auch große Härte und Wetterbeständigkeit aufweisen Da die Wellen besonders die kleineren Steine ständig durchrütteln, so stoßen sich die Ecken ab, und die Steine werden immer kleiner; ferner werden bei starken Stürmen die kleineren Steine gegen die größeren und die Mauern geschleudert und beschädigen diese. Je härter daher die Steine, um so länger widerstehen sie diesen Angriffen

Die Steine müssen ferner wetterbeständig und den besonderen Angriffen des Seewassers gewachsen sein. Sie dürfen daher weder an der Luft noch im Seewasser Zersetzungen erleiden. Im ersteren Falle beschleunigt das in die sich zersetzenden Teile eingedrungene Wasser beim Gefrieren die Zerstörung durch Sprengwirkungen, im anderen Falle verändern die im Seewasser enthaltenen Salze durch chemische Einwirkungen einzelne Bestandteile, so daß diese sich lösen und ausgelaugt werden, wobei Risse und Hohlräume entstehen, oder so, daß sie aufquellen und sprengend wirken.

Den genannten Anforderungen entsprechen in erster Linie Eruptivgesteine, wie Granit, Syenit, Porphyr, Basalt u. a., und einige Sedimentgesteine, wie Kalkstein, Sandstein, Quarzite und Oolithe in den härteren Arten. Nachstehende Zusammenstellung enthält die spezifischen Gewichte und Härten dieser Gesteinsarten:

	Spezifisches Gewicht	Härte
Granit . .	2,51 bis 3,05	6 bis 7
Syenit . .	2,6 „ 2,80	6 „ 7
Porphyr . .	2,6 „ 2,90	6,5 „ 7
Basalt. . .	2,8 „ 3,30	5 „ 6
Kalkstein .	2,5 „ 2,80	„ 6
Sandstein .	2,2 „ 2,50	„ 6
Quarzit . .	2,5 „ 2,60	6,5 „ 7

Granit ist wegen seiner weiten Verbreitung eine der gebräuchlichsten und den bei Seebauten zu stellenden Eigenschaften gut entsprechende Steinart. Zusammengesetzt aus Feldspat, Quarz und Glimmer ist er am besten, wenn er einen feinkörnigen glänzenden Bruch ohne jede Schichtung zeigt. Seine Wetterbeständigkeit ist gut; er erleidet eine langsame Veränderung durch Zersetzung des Feldspats und ferner dadurch, daß der Glimmer sich zersetzt, Feuchtigkeit aufnimmt und dann bei Frost Sprengwirkungen verursacht. Sich zersetzende Schichten machen durch gelbliche bis braune von Eisenoxyden hervorgerufene Färbung auf den beginnenden Verfall aufmerksam.

Ähnliche Eigenschaften zeigt auch Syenit, der die gleiche Zusammensetzung hat, nur ist der Glimmer durch Hornblende ersetzt. Im Porphyr setzt sich die kieselsäurereiche Gesteinsmasse aus einer für das gewöhnliche Auge einheitlichen Grundmasse und eingesprengten Kristallen aus Feldspat, Quarz usw. zusammen, auch er ist für Seebauten verwendbar.

Im Gegensatz zum vorigen ist Basalt ein kieselsäurearmes, dafür eisen-, kalk- und magnesiareiches Eruptivgestein. Er findet sich meist in 0,10 bis 0,50 m dicken, vier- bis sechskantigen, prismatischen Säulen abgesondert und ist infolgedessen ein bei Seebauten aus diesem Grunde und auch wegen seiner Schwere sehr geschätztes Pflastermaterial. Auch zur Verblendung der Außenflächen von Hafenmauern und anderen Betonkörpern usw. wird er gern verwendet. Es gibt unter den Basalten solche, die bei längerem Liegen an der Luft und im Licht hellere, graue Flecken, den sogenannten Sonnenbrand, zeigen; diese von dem sich an feuchter Luft zersetzendem Nephelin herrührenden Stellen führen in einiger Zeit zu einem völligen Zerfall der Steine und machen die Verwendung dieser Arten zu Wasserbauten unmöglich. In Frage kommen in

dieser Beziehung Feldspat, Nephelin und Magmabasalte; es sollte daher der zu verwendende Basalt stets einer längeren Beobachtungszeit auf Sonnenbrand unterworfen werden.

Von den zahlreichen Kalksteinen erreichen nur wenige dichtere Arten solche Härte und Wetterbeständigkeit, daß sie für Seebauten in Betracht kommen. Geeignet hierzu sind die Kieselkalke, die einen bis 6 steigenden Härtegrad erreichen, und auch magnesiareiche Kalksteine, die der Verwitterung länger widerstehen.

Einen starken Feind finden Kalksteine im Seewasser an den Bohrmuscheln (pholas dactylus und saxicava), die ihre Löcher dicht nebeneinander bis 15 cm tief in die Außenfläche der Steine treiben und sie auf diese Weise nach und nach zerstören. Im Hafen von Plymouth ist durch die erste Muschelart an dem Wellenbrecher großer Schaden entstanden.

In den aus zusammengekitteten Körnern eines oder mehrerer, meist harter Minerale bestehenden Sandsteinen ist die Art des Bindemittels für ihre Härte und Wetterfestigkeit maßgebend. Vorwiegend aus Quarzkörnern gebildete Sandsteinarten mit kieseligem Bindemittel erreichen Härten bis zu 6 und sind zu Seebauten geeignet. In England hat sich der daraus gebaute Wellenbrecher zu Alderney durchaus gut gehalten Ähnliche Eigenschaften weist auch der Quarzit auf, der aus kleinen, durch quarzige Bindemittel verkitteten Quarzkörnern besteht. Besonders wenn die Quarzite glimmerfrei sind, stellen sie ein sehr hartes und wetterbeständiges Steinmaterial dar, dessen Bearbeitung schwierig ist; sie finden daher vorwiegend in unbearbeiteten Stücken bei Ufer- und Wasserbauten Verwendung.

Bisweilen sind auch Blöcke aus Hochofenschlacke verwandt worden. Die Erfahrungen sind dabei nicht günstig ausgefallen. Zum Teil gehen in den Schlackenstücken an der Luft oder im Seewasser, je nach der Zusammensetzung der Schlacke, chemische Zersetzungen vor sich, zum Teil bilden sich in den nur schwer gleichmäßig abzukühlenden Blöcken Temperaturspannungen, die zu Rissen und zum Auseinanderfallen der Blöcke führen. Das spezifische Gewicht ist ziemlich hoch, bis 2,9, und auch bisweilen die Härte; aber diese Eigenschaften und die Verwendbarkeit der Schlacke in gegossenen Blöcken hängen ausschließlich von ihrer Zusammensetzung ab; sie sollte daher ohne längere Versuche nicht verwandt werden und auch nur dann, wenn die Gleichmäßigkeit der Zusammensetzung gewährleistet ist.

Bei der Bestimmung über die bei Hafenbauten zu verwendenden Baustoffe wird die Frage der Beschaffung eine ausschlaggebende Rolle spielen. An Hafenbauplätzen, wo felsige Ufer vorhanden sind, wird den an Ort und Stelle vorhandenen Gesteinen bisweilen der Vorzug gegeben werden müssen, selbst wenn sie weniger brauchbar erscheinen als ferner vorkommende, aber nur mit großen Kosten heranzuschaffende. Infolgedessen findet man bei dem Bau von Wellenbrechern, Molen usw. die verschiedensten Gesteinsarten, deren Wahl durch benachbarte, günstig gelegene Steinbrüche zu erklären ist.

So sind z. B. zahlreiche Hafenbauwerke in französischen, englischen, italienischen usw. Küstenplätzen aus den unmittelbar daneben oder in geringer Entfernung vorhandenen Steinbrüchen, in denen das Material durch gewaltige

Sprengungen gelöst wurde, errichtet worden. Solche günstigen Umstände liegen z. B. in Genua vor, wo der Steinbruch dicht an der Molenwurzel liegt.

Sehr viel ungünstiger liegen die Verhältnisse an flachen Küsten mit Ufern aus Sand- oder Marschboden, wo Steinbaustoffe nur auf Binnenverkehrswegen oder über See beschafft werden können. Dann stellen sich künstlich hergestellte Steine in der Regel billiger, wenn nicht, wie es an einigen Stellen der Ostsee der Fall ist, der Steinbedarf durch die vom Meeresgrunde auf flachen Bänken mit Steinzangen gefischten Steine gedeckt werden kann. Aber auch diese Vorräte sind besonders im Hinblick darauf nicht unerschöpflich, daß die in der Nähe der Küsten in geringen Tiefen mit leichter Mühe zu fischenden Steine einen nicht unwesentlichen Uferschutz bilden und ohne Gefährdung der Ufer nicht in beliebigem Maße entfernt werden dürfen. Auch der Steinvorrat an Findlingen in der Nähe der deutschen Küsten hat allmählich so abgenommen, daß bei größerem Steinbedarf nicht mehr darauf gerechnet werden kann und an die Beschaffung über See aus schwedischen Steinbrüchen gedacht werden muß.

Künstliche Steine. In allen Fällen, wo die Beschaffung natürlicher Steinblöcke auf Schwierigkeiten stieß, war man schon im Altertum zur Herstellung künstlicher, aus Mauerwerk oder aus gestampfter Masse gebildeter Steine übergegangen; ferner hat man in neuerer Zeit zum Ersatz der früher aus Haufen natürlicher Steine gebildeten oder aus kleineren Werksteinen sorgsam zusammengefügten Hafenbauwerke einheitliche große Massen künstlich zusammengemauert oder gestampft. Durch die Anwendung der mit hydraulischen Bindemitteln (d. h. unter Wasser erhärtenden) hergestellten Körper in beliebiger Ausdehnung wurden außer den Schwierigkeiten der Beschaffung die bei harten, widerstandsfähigen Gesteinen so kostspielige, zeitraubende Bearbeitung und Formgebung vermieden und die Bauweise der Molen und Wellenbrecher in neue Bahnen gelenkt.

Bei dieser Entwicklung spielt die Verbesserung der bisherigen und Erfindung neuer hydraulischer Bindemittel die Hauptrolle. In nachfolgendem sollen die Bindemittel nur so weit besprochen werden, wie sie für die Anwendung im Seewasser in Frage kommen.

Natürliche hydraulische Kalke und hydraulische Zuschläge. Die ältesten bekannten hydraulischen Bindemittel sind die natürlichen hydraulischen Kalke. Sie unterscheiden sich von dem im Hochbau üblichen Weiß- oder Fettkalk durch ihren höheren Gehalt an Kiesel- und Tonerde, dessen Größe für ihre hydraulischen Eigenschaften bestimmend ist; so gibt z. B. ein Kalk mit 20 bis 30 vH. Tonerde, gebundener Kieselerde, Eisen- und Manganoxyd, der beim Löschen mit Wasser noch zu Pulver zerfällt, einen brauchbaren Wasserkalk. Ein Kalk mit einem Gehalt von 30 bis 40 vH. derartiger Beimengungen löscht sich nicht mehr und muß zu Pulver künstlich gemahlen werden, gibt aber einen vorzüglichen hydraulischen Kalk.

Bei Seebauten ist vorzugsweise der Kalk von Teil durch französische Ingenieure im Mittelländischen Meere mit meist gutem Erfolge verwendet worden, seine Verpflanzung nach den atlantischen Küsten und den Ufern der Nordsee hat sich dagegen nicht bewährt.

In Frankreich hat sich ferner der Kalk von Zumaja im Hafen von St. Jean de Lup und der von der Insel Ré im Hafen von Sables d'Olonne gut gehalten. In England spielen der Roman-Zement von der Insel Sheppey, aus Yorkshire und Harwich, ferner der Medina-Zement von der Insel Wight und aus Hampshire eine ähnliche Rolle; sie sind jedoch meist nur an Stellen verwandt worden, wo schnelle Ausführung und Erhärtung gewünscht wurden, da sie sehr schnell abbinden und schon nach 10 bis 15 Minuten den Angriff der See aushalten. Aus diesem Grunde sind sie bisweilen an Molenköpfen und zum Schutz langsamer erhärtender Portlandzemente benutzt worden, indem frische Betonmassen damit abgedeckt und gegen schädliche Berührung mit dem Seewasser gesichert wurden. Bei der Wiederaufnahme der Arbeit wurden die Schutzmörtelschichten wieder entfernt.

In einigen Ländern werden ferner gewöhnlichen Kalken durch Beimengung Ton- und Kieselerde haltender Stoffe, vulkanischer Tuffe, hydraulische Eigenschaften gegeben. Von diesen, den sogenannten hydraulischen Zuschlägen, ist besonders in Italien der Puzzolan von Rom, Bacoli und Puzzuoli bei Neapel, der sehr langsam bindet, aber auch sehr hart wird, mit Erfolg bei Seebauten angewandt worden.

In Holland und Deutschland wird zu dem gleichen Zweck der Traß von Andernach im Brohltale, ferner aus dem Nettetal und von Winningen im Moseltale benutzt. Traß scheint neuerdings auch als Zusatz zu Portlandzement für Bauten in Seewasser große Bedeutung zu erlangen.

Für die Verwendung kommt in erster Linie der lichtblau und grau gefärbte harte „echte Traß" im Gegensatz zu dem braunen, weniger festen „wilden" oder „Bergtraß" in Frage. Seine Mahlung muß möglichst fein sein, da mit der Feinheit des Pulvers seine Bindefähigkeit wächst. Bei großem Bedarf empfiehlt sich der Bezug in Stücken und die Zerkleinerung auf der Baustelle, um Vermischungen mit minderwertigen Stücken vorzubeugen. Zur Untersuchung der Eigenschaften des Traßpulvers dient das von Gary angegebene Verfahren.[1]) Es wiegt 1 hl Traß 95 kg.

Künstliche Zemente, Portlandzement u. a. In neuerer Zeit kommen bei Seebauten vorwiegend künstlich hergestellte hydraulische Bindemittel unter dem Namen „Portlandzement" zur Verwendung; abgesehen von einigen Mißerfolgen haben sie auch das ihnen von den Ingenieuren entgegengebrachte Vertrauen gerechtfertigt.

Den Namen „Portland" hat der Zement von dem Erfinder Aspdin erhalten, weil er einem auf der Insel Portland gewonnenen oolithischen Kalkstein, der in London viel als Baustein verwandt wurde, ähnlich sah.

Portlandzement wird erhalten, indem man Kalk mit kiesel- und tonerdehaltigen Stoffen als wesentlichste Bestandteile auf nassem oder trocknem Wege mischt, bis zur Sinterung brennt und nach dem Abkühlen bis zur Mehlfeinheit mahlt. Das erhaltene, grünlichgraue, sich scharf anfühlende Pulver enthält bei normalen Portlandzementen:

---

[1]) Handbuch der Ingenieurwissenschaften, 4. Aufl. Erster Teil, 3. Band. Grundbau, S. 121 u. f.

Kalk	57	bis	68	vH.
Kieselserde	19	„	26,5	„
Tonerde	4,5	„	10	„
Eisenoxyd	Spuren	„	5	„
Magnesia	„	„	4	„
Alkalien	„	„	2,5	„
Schwefelsäure	„	„	2	„
Sulfidschwefel	„	„	0,3	„
Unaufgeschlossene Rückstände	„	„	4	„
Glühverlust (Wasser u. Kohlensäure)	„	„	6,5	„

Bei der hervorragenden Bedeutung des Portlandzements für Seebauten soll kurz auf seine Haupteigenschaften eingegangen werden, deren Gleichmäßigkeit in Deutschland durch die preußischen „deutschen Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandzement und von Eisenportlandzement" vom Dezember 1909 gesichert wird[1]).

Sein spezifisches Gewicht ergibt sich im Durchschnitt zu 3,1; im Handel erscheint er

in Normalfässern	von	180	kg	brutto	und	etwa	170	kg netto
in halben Normalfässern	„	90	„	„	„	„	80	„ „
in Säcken	„	57,5	„	„	„	„	57	„ „

Für Umrechnungszwecke sind folgende Zahlen nützlich:

1 Normalfaß enthält 1,25 hl Zement 1 hl Zement wiegt 140 kg.

Beim Lagern nimmt Portlandzement Wasser und Kohlensäure auf, indem der Kalk sich zunächst mit Wasser zu Kalkhydrat und dann mit Kohlensäure zu kohlensaurem Kalk verbindet. Beide Vorgänge hängen sehr von der Länge der Lagerung und der Feuchtigkeit der Luft ab.

Bei Seebauten hat sich herausgestellt, daß ganz frisch verarbeiteter Zement sich im Seewasser weniger gut hält als 2 bis 3 Wochen gelagerter und dabei mehrmals umgewendeter, weil dann etwaiger freier Kalk Gelegenheit findet, sich zu löschen und Kohlensäure aufzunehmen; anderseits hat sich zu lange Lagerung ebenfalls als schädlich erwiesen; im allgemeinen wird man danach streben, den Zement noch vor Ablauf von 4 Wochen nach seiner Herstellung zu verarbeiten.

Langes Lagern verlangsamt ferner die Abbindezeit, deren Kenntnis bei jedem Zement von Wichtigkeit ist. Außer hiervon hängt die Abbindezeit der Zemente von der Zusammensetzung und Erzeugungsweise, von der Art der Lagerung und des Anmachens, von der Menge und Wärme des Wassers und anderen Umständen ab. Normale Zemente sollen nicht früher als eine Stunde nach dem Anmachen mit der Erhärtung beginnen.

Bei keiner Zementmörtel- oder Betonbereitung darf mehr von der Mischung hergestellt werden, als innerhalb der Abbindezeit verarbeitet werden kann, da bereits im Abbinden befindlicher Zement durch die Bearbeitung im Abbinden gestört wird und geringere Festigkeit erreicht.

Durch Frost kann der Abbindevorgang unter Umständen vollständig und dauernd unterbunden werden; man kann das Abbinden dagegen beschleunigen

[1]) Zentralblatt der Bauverwaltung 1910, S. 189 und Sonderdruck. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn.

durch Erwärmung des Wassers, Sandes usw., durch geringen Wasserzusatz oder durch Beimengung von Kochsalz und wasserfreier Soda.

Bezüglich der Mahlfeinheit schreiben die Normen vor, daß auf einem Siebe mit 900 Maschen auf 1 qcm, bei dem die Maschenweite 0,222 mm beträgt, nur 5 vH. Rückstand hinterbleiben; die heutigen Zemente sind jedoch meist so fein, daß sie auf diesem Siebe im Mittel nur 1 vH. Rückstand und selbst auf dem 5000 Maschensiebe im Mittel nur 17 vH. Rückstand hinterlassen.

Von besonderer Wichtigkeit ist bei allen Zementen die Raumbeständigkeit, d. h. sie sollen nach der Verarbeitung weder ihren Raumgehalt vergrößern, noch verringern.

Das Treiben der Zemente kann eine Folge unrichtiger Zusammensetzung, mangelhafter Aufbereitung, ungenügenden Brennens oder zu hohen Gipszusatzes oder Magnesiagehalts sein. Besonders ein Gehalt an freiem oder wenig gebundenem Kalk ist bei den im Seewasser zu gebrauchenden Zementen bedenklich; da nach Michaëlis „der im Portlandzement befindliche freie oder beim Erhärten freiwerdende Kalk die vornehmste Ursache der Zerstörung durch Meerwasser ist, indem der Kalk mit der Schwefelsäure dieses Wassers Verbindungen eingeht, die eine nachteilige Raumvergrößerung im Mörtel herbeiführen".[1])

Auch hoher Magnesiagehalt scheint auf das Treiben einen meist erst nach mehreren Jahren bemerkbar werdenden Einfluß auszuüben; bei normalen Zementen schwankt jedoch der Magnesiagehalt innerhalb so geringer Grenzen, daß Raumvergrößerungen nicht zu befürchten sind. Zur Untersuchung der Raumbeständigkeit ist bei uns nach den Vorschriften der Normen die Kuchenprobe in Gebrauch; in kürzerer Zeit gibt die im Auslande und in Laboratorien gebräuchliche Kochprobe über diese Eigenschaften eines Zementes Aufschluß.

Im Anschluß an den Abbindungsvorgang beginnt die Erhärtung der Zementkörper; ihre Dauer ist nicht bekannt, sie erstreckt sich wie die damit in Verbindung stehende Zunahme der Festigkeit auf viele Jahre, ja Jahrzehnte.

Die Erhärtung ist eine Folge chemischer Vorgänge, bei der sich Kalkkieselerde-Verbindungen bilden. Der ganze Vorgang ist noch nicht völlig aufgeklärt. Bei den Umsetzungen frei werdender Kalk geht in Kalkhydrat über, dessen weitere Umwandlung davon abhängt, ob der Zementkörper an der Luft oder im Wasser verbleibt.

Beim Erhärten an der Luft wird das gebildete Kalkhydrat in kohlensauren Kalk übergeführt. Beim Erhärten unter Wasser dagegen unterbleibt diese Umwandlung, und es entstehen unter dem Einfluß der Salze des Seewassers entweder raumvergrößernde oder auslaugbare Kalkverbindungen, wodurch die Zunahme der Festigkeit ungünstig beeinflußt wird. Auch die Art des umgebenden Wassers beeinflußt den Erhärtungsvorgang, indem z. B. sehr reines Wasser dadurch schädlich wirkt, daß es das beim Erhärten frei werdende Kalkhydrat auslaugt oder stark kohlensäurehaltiges Wasser doppeltkohlensauren löslichen Kalk bildet oder endlich Seewasser durch seine schwefelsauren Salze mit dem Kalk und der Tonerde ein stark treibendes und zerstörend wirkendes Doppelsalz erzeugt.

[1]) Mitteilungen aus dem Königlichen Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde-West 1909, Heft 5 u. 6, S. 240.

Der Erhärtungsverlauf hängt ferner noch von der Behandlung des Zementes beim Anmachen und von den Wärmeverhältnissen ab, insofern als nicht rechtzeitig verarbeiteter und in der ersten Zeit nicht genügend feucht gehaltener Zement geringere Härten erreicht und als geringe Temperaturen den Erhärtungsvorgang aufhalten.

Zur Beurteilung der durch das Erhärten gewonnenen Festigkeit wird nicht Zement allein, sondern eine Mischung aus 1 Gewichtsteil Zement und 3 Gewichtsteilen Normalsand in genau bestimmter, durch die Normen festgelegter Weise untersucht. Langsam bindender Portlandzement soll nach 7 Tagen Erhärtung — 1 Tag in feuchter Luft und 6 Tage unter Wasser — mindestens 120 kg/qcm Druckfestigkeit erreichen; nach weiterer Erhärtung von 21 Tagen in Luft von 15 bis 20° C soll die Druckfestigkeit mindestens 250 kg/qcm betragen.

Portlandzement, der für Wasserbauten bestimmt ist, soll nach 28 Tagen Erhärtung — 1 Tag in feuchter Luft, 27 Tage unter Wasser — mindestens 200 kg/qcm Druckfestigkeit zeigen.

Zur Erleichterung der Kontrolle auf der Baustelle kann eine Prüfung auf Zugfestigkeit dienen. Der Zement soll in einer Mischung von 1 Teil Zement zu 3 Teilen Normensand nach 7 Tagen Erhärtung — 1 Tag in der Luft, 6 Tage unter Wasser — mindestens 12 kg/qcm Zugfestigkeit aufweisen.

Bei schnell bindenden Portlandzementen ist die Festigkeit nach 28 Tagen im allgemeinen geringer als die oben angegebene.

Zuschlagstoffe zum Mörtel und Beton. Als Zuschlagstoffe zu den hydraulischen Bindemitteln werden Sand, Kies und Steinbrocken verwendet. Man nennt die Mischung eines Bindemittels mit Sand — Mörtel, mit Kies oder Steinbrocken — Beton. Die Grenze ist jedoch nicht genau zu ziehen, da die Unterscheidung zwischen Sand und Kies keine strenge ist; häufig bezeichnet man ein durch ein 7 mm-Sieb gehendes Gemisch als Sand und das Zurückbleibende als Kies.

Die Eigenschaften der Zuschlagstoffe sind von wesentlichem Einfluß auf diejenigen der erhärteten Mörtel- oder Betonkörper.

Sand wird entweder in Gruben, in Flüssen oder am Strande der See gewonnen oder durch Zerkleinerung natürlicher Gesteine künstlich hergestellt. Für Betonzwecke sind Quarzsande am geeignetsten, sie sollten von erdigen Stoffen möglichst frei sein, da sie sonst die innige Vereinigung von Bindemittel und Sandkorn verhindern. Auch ist die Kornform nicht ohne Einfluß; von manchen wird ein splittriges Korn mehr bevorzugt als das runde; letzteres läßt sich leichter mischen und stampfen. Wesentlicher als die Form der Körner ist die Beschaffenheit ihrer Oberfläche, insofern, als die Verkittung um so besser und der Widerstand gegen Verschieben um so größer sein wird, je rauher die Oberfläche der Sandkörner ist. Reiner Sand mit eckigem, nicht zu feinem Korn und rauher Oberfläche gibt beim Zerdrücken in der Hand ein knirschendes Geräusch; er ist als sogenannter „scharfer" Sand gegenüber dem „weichen", vorwiegend aus kleinen runden Körnern mit erdigen Beimengungen bestehenden, vorzuziehen.

Für die Dichtigkeit der Mörtel- und Betonkörper und den Bindemittelverbrauch ist ferner von großer Bedeutung, daß die Korngröße nicht gleichmäßig, sondern verschiedenartig ist, und zwar möglichst so, daß die kleineren Körner die Hohlräume der größeren ausfüllen; daraus folgt, daß das Vorkommen einzelner Korngrößen zu den anderen in ganz bestimmten Verhältnissen stehen muß. Man kann durch Versuche diese Verhältnisse feststellen, wird sich aber in der Praxis meist mit allgemeinen Annäherungen an den idealen Zustand begnügen müssen.

Bei Bauten im Seewasser ist diesem Umstande besonderer Wert beizumessen, da die Haltbarkeit der Betonkörper mit ihrer Undurchlässigkeit in engem Zusammenhang steht und diese wiederum von der dichten Lagerung der Zuschlagstoffe abhängt.

Fast alle Gesichtspunkte, die für die Beschaffenheit des Sandes als Zuschlagstoff angeführt wurden, treffen auch für die gröberen Bestandteile, den Kies und den Schotter, zu. Sie müssen aus einem möglichst harten und festen Gestein bestehen, am besten rauhe Oberfläche besitzen und frei von erdigen Beimengungen und Überzügen sein. Ihre Größe muß sich nach der Art der damit herzustellenden Betonkörper richten. Für gewöhnliche Betonkörper können Kieskörner bis zu 5 cm und Schotterstücke, die durch Ringe von 5 bis 7 cm hindurchgehen, verwandt werden. Für Eisenbetonkörper, wo die Korngröße von dem Abstand der Eiseneinlagen abhängt, wird sie im allgemeinen kleiner ausfallen und selten über 2 cm hinausgehen; so wird z. B. bei 4 cm Abstand der Eiseneinlagen ein Beton aus 1 Teil Zement, 3 Teilen Sand bis zu 5 mm Korn und 3 Teilen Kies oder Steinschlag von 5 bis 25 mm Korn angemessen sein.

Im Auslande ist es vielfach üblich, behufs Ersparnis von Bindemitteln größere Steinstücke in den Beton einzubetten; in solchen Fällen wird aber darauf gehalten, daß die einzelnen Stücke voneinander und von der Außenfläche mindestens 7 bis 15 cm entfernt bleiben.

Da im Seebau auf großes spezifisches Gewicht der Betonblöcke aus den früher erörterten Gründen hoher Wert gelegt wird, müssen die zur Betonbereitung benutzten Zuschlagstoffe gleichfalls Gesteinen mit möglichst hohem Gewicht entstammen und muß ferner auch aus diesem Grunde auf möglichste Dichtigkeit des Betons hingewirkt werden. Über die Dichtigkeit der Zuschlagstoffe erhält man Aufschluß, wenn man die Raumgewichte der Stoffe, so wie sie angeliefert werden, mit den spezifischen Gewichten vergleicht. Es ergibt dann das Verhältnis

$$\frac{\text{Raumgewicht}}{\text{spezifisches Gewicht}} = \text{den Dichtigkeitgrad}$$

und der Unterschied

spezifisches Gewicht weniger Raumgewicht den Undichtigkeitsgrad,

d. h. die Größe der Hohlräume.

Im Durchschnitt ergeben sich für diese Gewichte in eingefülltem Zustande folgende Zahlen:[1])

[1]) Handbuch für Eisenbetonbau, 1. Aufl. II. Bd., S. 38 bis 40. Berlin 1907. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn.

	Raumgewichte für 1 cbm	Spezifisches Gewicht	Dichtigkeitsgrad	Undichtigkeitsgrad
bei Sand . . .	1310 bis 1570 kg	2,58 bis 2,66	0,51 bis 0,59	0,49 bis 0,41
(Normalsand)	(1,46)	(2,66)	(0,55)	(0,45)
bei Kies . . .	1400 bis 1660 „	2,62 bis 2,65	0,53 bis 0,63	0,47 bis 0,37
bei Schotter . .	1250 „ 1530 „	2,58 „ 3,10	0,48 „ 0,49	0,52 „ 0,51

Man erhält für den Undichtigkeitsgrad bei eingerüttelten Massen etwa folgende Durchschnittswerte für 1 cbm

bei Quarzsanden . . . . zwischen 180 und 360 l (Normalsand)
„ Kies . . . . . „ 190 „ 350 l
„ Schotter (runde Kiesel) „ 400 „ 500 l
„ Steinschlag . . . . „ 400 „ 500 l.

In gegebenem Falle kann man unschwer den Undichtigkeitsgrad mit Hilfe von Wasser feststellen, indem man Sand oder Kies oder Steinschotter in ein mit etwas Wasser gefülltes Meßgefäß wirft, bis beide Stoffe bis zum Rande hinaufreichen; entfernt man nun das Wasser durch Abgießen und Verdampfen, so ergibt der Gewichtsunterschied in Gramm den Gehalt an Hohlräumen in Kubikzentimeter. Das umgekehrte Verfahren, Wasser in Sand usw. zu gießen, ist nicht zu empfehlen, da dabei nicht alle an dem Sand haftende Luft entfernt wird.

Auch die Beschaffenheit des zur Mischung zu verwendenden Wassers ist für die Güte und Festigkeit des Mörtels und Betons von Wichtigkeit; es muß möglichst rein sein, daher ist Brunnen-, Leitungs-, Regenwasser, Wasser aus nicht verunreinigten Bächen, Flüssen und Seen wohlgeeignet. Nicht brauchbar sind moorige Wässer und ferner solche mit starkem Kohlensäure-, Gips- oder Schwefelgehalt.

Über die Zulässigkeit von Seewasser sind die Ansichten geteilt; an vielen Stellen hält man das Anfeuchten des Betons mit Seewasser infolge des Ausbleibens ungünstiger Erfahrungen für unschädlich, in Deutschland neigt man mehr dazu, Seewasser von der Benutzung auszuschließen, da durch Seewasser sowohl das Abbinden verlangsamt als auch die Festigkeit vermindert werden soll. Es ist wenigstens folgerichtig gehandelt, wenn man Seewasser nicht zur Mörtelbereitung verwendet, da man anderseits durch möglichste Dichtigkeit des Betons das Seewasser vom Inneren der Betonkörper wegen seiner schädlichen Wirkungen fernzuhalten bestrebt ist.

Mischungsverhältnisse. Von besonderer Wichtigkeit ist bei den den Angriffen des Seewassers ausgesetzten Mörtel- und Betonkörpern die richtige Wahl des Mischungsverhältnisses, da hiervon sowohl ihre Festigkeit als auch ihre Widerstandsfähigkeit gegen Seewasser abhängt.

Nach den bisherigen Erfahrungen werden sowohl die Kalk- als auch die Zement-Bindemittel vom Seewasser angegriffen.

Die für diese Erscheinungen gegebenen Erklärungen sind mannigfach, sie stimmen aber insoweit überein, als die Hauptrolle dem im Zement enthaltenen, ungelöschten, freien und lose gebundenen Kalk sowie der Tonerde bei den zerstörenden Wirkungen zufällt. Man nimmt an, daß der Kalk durch

Aufnahme von Schwefelsäure aus dem Seewasser Verbindungen bildet und hierbei eine Raumvergrößerung erfährt, die zersprengend wirkt. Die Schwefelsäure ist im Seewasser hauptsächlich in den Verbindungen des Magnesiums enthalten. Wie weit die anderen Salze des Seewassers hierbei in gleicher Weise mitwirken oder lösliche Verbindungen mit dem Kalk eingehen, die durch das sich ständig erneuernde Seewasser ausgelaugt und fortgeführt werden, so daß Hohlräume entstehen, und dem Wasser den Zugang weiter nach innen öffnen, ist noch nicht einwandfrei aufgeklärt.

So viel dürfte jedoch feststehen, daß infolge der an vielen Orten gemachten günstigen Erfahrungen in der Anwendung des Zementes bei Seebauten eine Veranlassung zu Beunruhigungen nicht vorliegt. Wo der Mörtel richtig zusammengesetzt, sorgfältig und sachgemäß verarbeitet wurde, sind auch selten Mißerfolge zu verzeichnen gewesen; in diesem Sinne haben sich auch im wesentlichen die zahlreichen Ingenieure auf dem XI. internationalen Schiffahrtskongreß in Petersburg in ihren Mitteilungen geäußert.[1]) Der gleichen Frage .wird auch auf den internationalen Kongressen für die Materialprüfungen der Technik rege Aufmerksamkeit zugewendet. In Deutschland wird zur Zeit durch umfangreiche, von dem Königlich Preußischen Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde-West bei Berlin ausgeführte Versuche auf der Insel Sylt an der Klärung der Frage gearbeitet. So viel haben die jetzt bereits sich über 5 Jahre erstreckenden Versuche ergeben, daß Mörtel und Beton aus guten Portlandzementen, in dichter Mischung sorgfältig hergestellt, den mechanischen und chemischen Einflüssen des Meeres lange Zeit hindurch Widerstand zu leisten vermögen.[2])

Zu den gleichen Ergebnissen kommen auch die bereits mehrfach erwähnten namhaften Ingenieure und Schriftsteller im Auslande, wie Quinette de Rochemont, C. Cordemoy, Brysson Cunningham und William Shield.

Auch der Bericht über die 10jährigen Versuche Skandinavischer Portlandzementfabrikanten von A. Poulsen, Kopenhagen 1909, spricht sich in ähnlichem Sinne aus.

Aus den Äußerungen dieser Ingenieure und nach den bei den Versuchen gewonnenen Ergebnissen ist der Schluß berechtigt, daß es bei der Herstellung von Mörtel- und Betonkörpern, die den Angriffen des Meerwassers widerstehen sollen, in erster Linie auf die Erzielung einer dichten Mischung ankommt, selbstverständlich dürfen nur gute Portlandzemente zur Verwendung kommen und am besten solche aus Fabriken, deren Erzeugnisse sich bereits im Seewasser bewährt haben.

Ist ein Mörtel- oder Betonkörper so dicht, daß das Seewasser nicht in ihn eindringen kann, so können auch schädliche chemische Umsetzungen nicht vor sich gehen. Von den im Beton möglichen Hohlräumen sind diejenigen am gefährlichsten, die miteinander in Verbindung stehen, so daß kleine Kanäle gebildet werden, die das Seewasser, besonders wenn es unter hohem Druck steht, tief in das Innere der Betonkörper eintreten lassen und die chemischen Umsetzungen auch im Inneren ermöglichen. Das Vorhandensein derartiger Hohl-

[1]) Vergl. hierzu den Bericht des Verfassers, Beton u. Eisen 1908, Heft XVI, S. 404.

[2]) Mitteilungen aus dem Königlichen Materialprüfungsamt 1909, Heft 5 u. 6.

räume würde als Durchlässigkeit zu bezeichnen sein. Außerdem können im Beton nicht im Zusammenhang stehende Hohlräume (Poren) vorhanden sein, die weniger gefährlich sind, da von ihnen nur die äußeren zunächst für das Seewasser zugänglich sind. Sind aber in diesen Zerstörungen eingetreten, so werden neue Poren geöffnet und die Zersetzung nimmt allmählich ihren Fortgang.

Bei der Herstellung der Mörtel- und Betonkörper wird daher in erster Linie die Durchlässigkeit, in zweiter die Porigkeit und am besten beides zu vermeiden sein.

Über die zur Erzielung dichter Mörtel- und Betonkörper notwendigen Maßnahmen ist bei der Besprechung der Zuschlagstoffe schon das Wichtigste hervorgehoben worden. Eine Hauptrolle spielt hierbei das Korn des Sandes, das nicht gleichmäßig sein darf, sondern so zusammengesetzt sein muß, daß feine und gröbere Körner vorhanden sind und daß die kleineren die Hohlräume der größeren möglichst ausfüllen. Bei dem Gebrauch von See- oder Dünensand wird besonders hierauf zu achten sein und, wenn er ein zu feines, gleichmäßiges Korn besitzen sollte, eine Mischung mit von anderswo bezogenem gröberen Sand vorgenommen werden müssen.

Zur Erzielung möglichster Dichtigkeit darf ferner der Wasserzusatz bei der Mischung nicht zu gering genommen werden. Neben dem Hauptzweck, das für die chemischen Vorgänge erforderliche Wasser zu liefern, dient das Anmachewasser dazu, der Mischung eine gewisse Geschmeidigkeit und Beweglichkeit zu geben. Es hängen von der Wassermenge die späteren Eigenschaften des Betons in bezug auf Raumbeständigkeit, Dichtigkeit und Festigkeit ab. Da bei Beton für Seebauten die Dichtigkeit besonders wichtig ist, wird man die Masse möglichst geschmeidig und so beweglich herstellen, daß sie durch Stampfen eine recht dichte Lagerung erhält. Ferner sind im Seewasser unabgebundene Zementteile, wie sie bei zu wenig Wasserzusatz vorkommen, besonders gefährlich, da sie schnell zersetzt werden. Es empfiehlt sich daher, bei Mörtel und Beton für Seebauten mit dem Wasserzusatz über das sonst übliche Maß hinauszugehen. Gewöhnlich wird der Wasserzusatz in Hundertteilen des Gewichts der trocknen Mischung (Bindemittel und Zuschlagstoff) angegeben. Bei der Bestimmung des Wasserzusatzes muß die schon in den Zuschlagstoffen vorhandene Feuchtigkeit, durch Ermittlung des Gewichtsverlustes bei dem Trocknen einer Probemenge, berücksichtigt werden. Für die bei Seebauten in Betracht kommenden Betonmischungen 1 : 2 und 1 : 3 werden gewöhnlich 7,5 und 7 vH. Anmachewasser bei Binnenbauten gerechnet; man wird an der Küste aus den angegebenen Gründen etwa bis 15 vH. hinaufgehen. Diese Angabe kann jedoch nur als ungefährer Anhalt dienen und bedarf der Prüfung und näheren Feststellung in jedem Einzelfalle.

Bei der Bezeichnung der verschiedenen Betonmischungen ist es in den meisten Ländern üblich, das Verhältnis zwischen Bindemittel und Zuschlagstoffen nach Raumteilen in der Weise zu kennzeichnen, daß man die Menge des Bindemittels in Raumteilen als Einheit und die Masse der Zuschlagstoffe (Sand, Kies, Schotter) als Vielfache dieser Einheit angibt, also z. B. 1 : 2 : 4 oder 1 : 2,5 : 5. Bisweilen werden auch die Zuschlagstoffe zusammengerechnet und die eben angegebenen Mischungen in der Form 1 : 6 oder 1 : 7,5 geschrieben.

In einigen Ländern, z. B. in Frankreich und Belgien, wird die auf 1 cbm Zuschlagstoffe entfallende Menge an Bindemitteln in kg angegeben, z. B 500 kg Zement auf 1 cbm Sand und Steine.

Bei der Ermittlung des für einen gegebenen Fall zu wählenden Mischungsverhältnisses wird man am besten den Hohlraumgehalt der zur Verfügung stehenden Zuschlagstoffe bestimmen und dann die Mengen der zu mischenden Stoffe so festsetzen, daß das Bindemittel die Hohlräume des Sandes und der so erhaltene Mörtel die Hohlräume des Schotters ausfüllt; ein Überschuß von 5 bis 10 vH. in jedem Falle ist zur sicheren Erreichung der Dichtigkeit zweckmäßig. Im allgemeinen kann man annehmen, daß Sand zur Ausfüllung seiner Hohlräume ein Drittel bis zur Hälfte seines Rauminhalts an Bindemitteln aufnimmt und daß ferner Steinbrocken etwa die Hälfte ihres Raumgehalts an Mörtel gebrauchen; es werden daher Mörtelmischungen vom Verhältnis 1 : 3 bis **1 : 2** und Betonmischungen vom Verhältnis 1 : 3 : 4 (1 : 7) oder **1 : 2 : 4 (1 : 6)** im Durchschnitt die für Seebauten erforderliche Dichtigkeit besitzen.

Dementsprechend hat man bei den Sylter Versuchen für die auf den Buhnenköpfen eingebauten Betonblöcke eine Mischung von

1 : 2 : 4 (1 : 6)

als sogenannte fette Mischung mit dem Erfolge angewandt, daß diese im Flutwechsel belegenen, den Angriffen der Wellen und des bewegten Sandes ausgesetzten Blöcke sich ausnahmslos gut gehalten haben, während Blöcke mit einer halb so fetten Mischung mehr oder weniger beschädigt wurden.

Bei den vorerwähnten skandinavischen Versuchen hat sich ebenfalls eine Mörtelmischung von 1 : 3 für das skandinavische Seeklima als zu schwach erwiesen.

Einen weiteren Anhalt gewähren die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen Mischungsverhältnisse, aus denen gleichfalls der fette Charakter der Mischungen zu erkennen ist.

Bezüglich der Berechnung der zur Erzielung einer bestimmten Mischung erforderlichen Bindemittel- und Zuschlagmengen sei auf die unten angeführten Arbeiten verwiesen.[1])

Bemerkenswert ist ferner, daß es sich sowohl bei den Versuchen in Sylt als auch an anderen Orten als vorteilhaft erwiesen hat, die Betonblöcke so lange als möglich (wenigstens 1 Monat, oder besser noch länger) an der Luft unter feuchtem Sande lagern zu lassen, ehe sie dem Seewasser ausgesetzt werden. Diese Erfahrung spricht für die Verwendung von fertigen Blöcken an den den Angriffen des Seewassers ständig ausgesetzten Stellen der Bauwerke.

Mit Seewasser nur selten in Berührung kommende Betonbauteile können naturgemäß aus weniger fetten Mischungen, als oben angegeben, hergestellt werden.

Dagegen empfiehlt es sich, bei Verwendung des Betons zur Umhüllung von Eisen, wie es bei den mehr und mehr sich auch den Seebau erobernden Eisenbetonbauten vorkommt, besonders fette Mischungen, etwa nach den unter

[1]) Büsing u. Schumann, Der Portlandzement und seine Anwendung im Bauwesen, Berlin 1905.

H. Nitzsche, Materialbedarf und Dichtigkeit von Betonmischungen, Leipzig 1907.

Zusammenstellung von Portlandzement-, Mörtel- und Betonmischungen.

Nummer	Verwendungsort bezw. angegeben von	Gehalt in Raumteilen an: Zement	Sand	Stein- oder Kiesschotter	Kiessand	Verhältnis von: Bindemittel	zu Zuschlagstoffen	Bemerkungen
1	Versuche auf Sylt . . .	1	2	4		1	6	In die Buhnen eingebaute Betonblöcke, aus der fetten Mischung, magere Mischung 1 : 4 : 8 hat sich nicht bewährt.
2	Uferbefestigung bei Cranz	1	3	4*)		1	7	*) Zur Hälfte 1 bis 2 cm große Kiesel- u. bis 7 cm große Granitbrocken.
3	Uferbefestigung bei Kuxhaven	1	2	5*)		1	7	*) Gewaschene Feuersteinknollen.
4	Desgl.	1	—	—	5*)	1	5	*) Magdeburger Elbkies.
5	Leuchtturm bei Blyth, Northumberland . . .	1	1,5	2,5	—	1	4	
6	Wellenbrecher bei Colombo	1	2	6	—	1	8	Blöcke lagerten 6 Wochen vor der Verwendung.
7	Wellenbrecher bei Newhaven (Sussex)	1	2	5	—	1	7	Für Blöcke und Betonsäcke.
8	Wellenbrecher bei Fraserburgh	1	—	7	—	1	7	Anfänglich für Betonsäcke.
9	Desgl.	1	—	4,5	—	1	4,5	Später für Betonsäcke.
10	Wellenbrecher bei Sandhaven und Portsoy . .	1	—	—	6	1	6	
11	Wellenbrecher bei Konstantza (Kustendjie) . .	1	2,5	5,5	—	1	8	
12	Nach Cunningham:							
	Im Innern großer Massen	1	—	—	8	1	8	
	Lotrechte Außenflächen	1	—	—	6	1	6	
	Wagerechte Außenflächen	1	—	—	4	1	4	
13	Nach Quinette de Rochemont:	kg	cbm					
	Zum Ausfugen im Flutwechsel	600	1					Nur Mörtelmischungen für Sand mittleren Korns.
		rd. 1	2,3*)					
	Blöcke u. Wellenbrecher	500	1					
		rd. 1	2,8*)					
	Schleusen und Docks, Mauerwerk und Beton im allgemeinen und im Flutwechsel . . .	400	1					
		rd. 1	3,5*)					*) 100 l Zement zu 140 kg gerechnet.
	Für höhere vom Seewasser nicht erreichte Teile, für Füllmauerwerk oder Füllbeton .	350	1					
		rd. 1	4*)	cbm				
14	Nach Hennebique . . .	500 bis 600	0,4	0,83	cbm			
15	Voisin	500			1			Eiseneinlagen 2,5 bis 3 cm von der Oberfläche.
		rd. 1	1,4	2,8	—	1	4,2	
16	Fischereihafen bei Ymuiden	500	—	—	1			Im Flutwechsel und unter Wasser.
		rd. 1	1,4	2,8	—			
	Desgl.	400	—	—	1			Oberhalb des Flutwechsels.
		rd. 1	1,75	3,5	—	1	5,25	*) 100 l Zement zu 140 kg gerechnet, 1 cbm Kiessand zu 0,5 cbm Sand und 1 cbm Steine.
17	Helling bei Scheveningen	500	—	—	1			
		rd. 1	1,4	2,8*)				

Nr. 14 bis 17 in der vorstehenden Tabelle angegebenen, zu benutzen. Um den Rostschutz möglichst sicher zu erreichen, ist es ferner ratsam, sowohl die Betonmasse durch vermehrten Wasserzusatz recht geschmeidig zu machen, damit das Eisen völlig von einer dünnen, reinen Zementschicht umhüllt wird, als auch den Abstand der Eisenstäbe von den Außenflächen nicht zu gering, mindestens zu 2,5 cm zu wählen; endlich ist auch hierbei die längere Lagerung und Erhärtung der Betonkörper vor der Berührung mit dem Seewasser vorteilhaft.

Infolge der an manchen Orten eingetretenen Mißerfolge bei dem Gebrauch des Portlandzementes hat man einerseits versucht, besondere, den Einflüssen des Seewassers gewachsene Zemente herzustellen, anderseits durch geeignete Beimischungen gewöhnliche Portlandzemente widerstandsfähig zu machen.

Andere künstliche Zemente. Von den für den Gebrauch im Seewasser bestimmten besonderen Zementen ist der in einer belgischen Fabrik (Norths Portland Cement a Brick works in Beersse bei Ryckeworsel) und in dem Kruppschen Grusonwerk hergestellte Erzzement zu nennen, in dem an Stelle der Tonerde 7,9 bis 11,1 vH. Eisen- und Manganoxyde getreten sind. Diese Zemente haben etwas höheres spezifisches Gewicht (3,26 bis 3,49) und binden sehr langsam ab; sie erzielten bei einer Reihe von Versuchen[1]) höhere Festigkeiten als gewöhnliche Portlandzemente, auch hielten sie sich in den fetteren Mischungen sowohl allein als auch mit Traßzusatz gut gegenüber den Einwirkungen des Seewassers. Gleichwohl ist bei den Erzzementen eine wesentliche Überlegenheit gegenüber den gewöhnlichen Portlandzementen als Folge ihrer besonderen Zusammensetzung bisher noch nicht erkannt worden.

Erwähnung verdienen hier von den neueren Zementen die Schlackenzemente und die Eisenportlandzemente, bei deren Herstellung gekörnte Hochofenschlacke verwandt wird

Bei den Schlackenzementen wird die im Hochofenprozeß gewonnene Schlacke ohne weiteres fein gemahlen. Je nach ihrer Zusammensetzung erhält sie sodann Zuschläge, wie Kalkpulver, Kieselerde usw., und wird darauf weiter in Kugelmühlen verfeinert. Ihre Beschaffenheit hängt sehr von der Gleichartigkeit der Schlacke ab; über besonders günstiges Verhalten im Seewasser liegen keine Erfahrungen vor.

Zur Herstellung der Eisenportlandzemente[2]) werden bis zu 70 vH. Portlandzement mit etwa 30 vH. gekörnter Hochofenschlacke vermahlen. Hierbei wird der Portlandzement gemäß der Begriffserklärung der Normen des Vereins Deutscher Portlandzementfabrikanten hergestellt. Die Hochofenschlacken sind Kalk-Tonerde-Silikate, die beim Eisenhochofenbetrieb gewonnen werden. Sie sollen auf 1 Gewichtsteil lösliche Kieselsäure (SiO_2) + Tonerde (Al_2O_3) mindestens 1 Gewichtsteil Kalk und Magnesia enthalten.

Der Portlandzement und die Hochofenschlacke müssen fein vermahlen, im Fabrikbetriebe regelrecht und innig miteinander vermischt werden. Zusätze zu besonderen Zwecken, namentlich zur Regelung der Bindezeit, sind nicht zu entbehren, jedoch in Höhe von 3 vH. der Gesamtmasse begrenzt, um die Möglichkeit von Zusätzen lediglich zur Gewichtsvermehrung auszuschließen.

[1]) Zentralblatt der Bauverwaltung 1904, S. 445 und 1906, S. 22.

[2]) Zentralbl. d. Bauverw. 1910, S. 192.

Die Eisenportlandzemente haben bei den mit ihnen angestellten umfangreichen und amtlichen Versuchen den Normenfestigkeiten für Portlandzement so entsprochen, daß ihre Verwendung an Stelle von Portlandzement behördlicherseits zugelassen ist.[1]) Über ihre Bewährung im Seewasser fehlen zur Zeit noch Erfahrungen

Hydraulische Mörtel mit Zuschlagstoffen. Unter den Beimengungen zum Portlandzement scheint der unter den hydraulisch wirkenden Zuschlägen erwähnte Traß nach den Vorschlägen des als Zementchemiker bekannten Dr. Michaelis für Betonbauten im Seewasser den ersten Platz einzunehmen. Seine Rolle besteht darin, daß er den im Portlandzement enthaltenen freien Kalk chemisch bindet und die unter dem Einfluß des schwefelsäurehaltigen Seewassers stattfindende, sprengende Wirkungen ausübende Bildung eines Kalk-Tonerde-Doppelsalzes verhindert Nach den im Jahre 1900 veröffentlichten Prüfungsergebnissen der Königlichen Technischen Versuchsanstalten zu Berlin[2]) haben die auf der Insel Sylt im See- und im Süßwasser aufbewahrten Zement-Traß-Mörtelproben durchweg im Seewasser höhere Festigkeiten als im Süßwasser erreicht Bei den neueren umfangreichen Prüfungen der in Sylt lagernden Proben und Betonblöcke[3]) hat sich herausgestellt, „daß Traßzusatz zum Zement für Seebauten nur bedingt Wert hat", insofern als sich die günstige Wirkung des Traßzusatzes nur bei den mageren Mischungen gezeigt hat. Es zeigen nämlich alle Blöcke der mageren Mischungen (Mörtel 1 : 4) Beschädigungen, diejenigen mit Traßzusatz aber geringere und ebenso auch die Blöcke aus dem kalkreicheren Zement. Von den fetten Mischungen (Mörtel 1 : 2) haben sich dagegen die aus dem kalkreicheren Zement während der 4 Beobachtungsjahre unverändert erhalten, ohne Unterschied ob mit oder ohne Traßzusatz.

Ein endgültiges Urteil über den Traßzusatz kann daher noch nicht gefällt werden; weitere Prüfungen an den Sylter Betonblöcken nach längerer Beobachtungsdauer werden vielleicht dereinst zuverlässigen Aufschluß geben.

Bei den erwähnten skandinavischen Versuchen hat sich der Zusatz eines feingemahlenen Stoffes zum Zement (Traß) oder auch nur Sand als vorteilhaft erwiesen.

Die gleiche Rolle wie der Traß spielt in Italien und im Mittelmeer die Puzzolanerde aus der Umgegend von Rom und Bacoli; der Puzzolan von diesem Orte bindet zwar sehr langsam ab, erreicht aber auch eine große Härte.

Auch Traß und Kalk allein haben bei den Sylter Versuchen allerdings in sehr fetter Mischung (5 Bindemittel zu 1 Sand) mindestens sich ebenso widerstandsfähig gezeigt wie magere Zementmischungen.

Über die an verschiedenen Orten vorgekommenen Mischungen von hydraulischen Zuschlägen mit Zement und Kalk gibt nachstehende Zusammenstellung Aufschluß:

---

[1]) Zentralblatt der Bauverwaltung 1909, S. 153.

[2]) Mitteilungen der Königlich Technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1900. I. Ergänzungsheft von M. Gary.

[3]) Mitteilungen aus dem Königlichen Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde-West 1909, Heft 5 u. 6.

Zusammenstellung von Zement-Traß, Puzzolan-Kalk und Traß-Kalk-Mörtel- und Beton-Mischungen.

Nummer	Verwendungsort	Gehalt in Raumteilen an					Gehalt in Raumteilen an			Verhältnis von		Bemerkungen
		Zement	Traß	Kalkteig	Sand	Kies- oder Steinschotter	Bindemitteln	Sand	Steinen	Bindemittel	zu Zuschlagstoffen	
	Zement-Traß-Beton.											
1	Neuere Versuche auf Sylt	1	1	—	4	8	1	2	4	1	6	Fettere Mischung; die mageren haben sich weniger gut gehalten.
	Desgl.	1,2	0,8	—	4	8	1	2	4	1	6	
2	Uferbefestigungen nach R. R. de Muralt auf der Insel Schouwen (Holl.)	3	1	—	5	8	1	1,25	2	1	3,25	In Flutwechselhöhe mit Sturmangriff.
	Desgl.	2	0,67	—	5	7	1	1,9	2,6	1	4,5	In Flutwechselhöhe ohne Sturmangriff.
	Desgl.	1	0,33	—	3	4	1	2,25	3	1	5,25	Über gewöhnlichem Hochwasser.
3	Eisenbetonsinkstücke nach R. R. de Muralt (Holl.)	1	0,5	—	3	4	1	2	2,7	1	4,7	Dauernd im Seewasser, starken Angriffen ausgesetzt.
4	Kaimauer in Wilhelmshaven	1	0,5	—	2,5	6	1	1,7	4	1	5,7	Für die im Flutwechsel belegene Eisenbetonmauer (0,4 cbm Mörtel zu 0,92 cbm Kies).
	Desgl.	1	0,5	—	3	4	1	2	2,7	1	4,7	Für die Eisenbetonpfähle (0,467 cbm Mörtel zu 0,784 cbm Kies).
	Zement-Kalk-Traß-Beton.											
5	Kaimauer in Wilhelmshaven	2	2	1	6	11,5	1	1,2	2,3	1	3,5	Im unteren Teil zwischen Spundwänden (0,467 cbm Mörtel zu 0,785 cbm Kies).
	Desgl.	1	1,5	0,75	4	11,5	1	1,23	3,5	1	4,73	Im oberen, im Trocknen gestampften Teil (0,4 cbm Mörtel zu 0,92 cbm Kies).
	Kalk-Traß-Mörtel.											
6	Neuere Versuche auf Sylt	—	3	2	1	—	1	0,2	—	—	—	Auf 0,5 cbm Mörtel 1 cbm Steinschlag.
7	Hafenmauern in Dünkirchen und Calais .	—	2,5 bis 3,5	5 bis 7	6,5 bis 3,5	—	1	0,87 bis 0,33	—	—	—	
	Puzzolan-Kalk-Beton.											
			Puzzolan									
8	Hafen v. Algier (Blöcke)	—	1	1	1	3	2	1	3	1	2	
	Desgl. in Massenkörpern	—	2	1	—	4	3	—	4	1	1,3	
9	Bei italienischen Hafenbauten	—	2	1	—	6	3	—	6	1	2	
	Hydraulischer Kalk-Beton.											
			Kalk von Theil									
10	Hafenbauten in Marseille (Wellenbrecher und Hafendämme) . . .	—	3	—	5	2	3	5	2	1	2,3	

Bezüglich der unter den Nummern 7 bis 10 angegebenen Mischungen mag bemerkt werden, daß sie wenig zu allgemeinerer Anwendung geeignet sind, da sie vorwiegend örtliche Bedeutung besitzen; auffällig ist bei denen unter Nummer 7 bis 9 der hohe Gehalt an Bindemitteln und das teilweise Fehlen des Sandes; vermutlich ersetzen hier die gröberen Bestandteile der weniger fein als bei uns gemahlenen hydraulischen Zuschläge den Sand.

Ausführung der Mörtel- und Betonmischungen. Auf die Ausführung der Mörtel- und Betonmischungen sei hier nur mit wenigen Worten hingewiesen. Es kommt in erster Linie darauf an, das Gemenge so lange trocken zu halten, bis eine innige Durchmischung erfolgt ist, und erst dann den Wasserzusatz vorzunehmen.

In Betracht kommt für die Herstellung von Beton die Handmischung und die Maschinenmischung. Im allgemeinen gibt man in heutiger Zeit der letzteren den Vorzug, da sowohl die Betonmischmaschinen nicht nur größere Betonmengen liefern und billiger mischen, sondern vor allem ein besser und inniger durchgearbeitetes Erzeugnis hergeben. Es dürfte daher für Seebauten, bei denen eine vollständige, gleichmäßige Mischung von besonderem Werte ist, die Anwendung von Mischmaschinen allein in Frage kommen. Welche von den vielen guten, jetzt vorhandenen Mischmaschinen mit unterbrochenem oder ununterbrochenem Betriebe den Vorzug verdient, ist schwer zu sagen, da die für die Auswahl in Betracht kommenden Gesichtspunkte zu sehr nach der Lage des einzelnen Falles und der Örtlichkeit wechseln. Nähere Auskunft gibt heute darüber jedes gute Buch über Beton oder Eisenbeton.[1])

Auch auf die Verarbeitung des Betons soll hier nicht näher eingegangen werden, da diese mehr oder weniger von der Art der zu errichtenden Bauwerke abhängt und besser bei deren Besprechung behandelt wird. Indessen soll hier nicht unterlassen werden, zu erwähnen, daß, da der Beton überwiegend zu Stampfbeton verarbeitet wird, auf reichliche Stampfarbeit Bedacht zu nehmen ist. Diese ist um so mehr erforderlich, je geringer der Wasserzusatz war, und muß bei sogenanntem erdfeuchten Beton so weit getrieben werden, daß er „schwitzt", d. h. bis das Wasser auf der Oberfläche erscheint, um die dichteste Lagerung seiner Bestandteile anzuzeigen. Aber auch bei weichem, plastischen Beton mit reichlichem Wasserzusatz darf das Stampfen nicht unterbleiben, da dadurch immer noch Luftblasen ausgetrieben werden und engere Lagerung der Stoffe erreicht wird.

Verblendung von Betonkörpern. Bei den hohen Kosten der allein dem Seewasser auf lange Zeit widerstehenden fetten und dichten Betonmischungen ist das Bestreben verständlich, durch Anwendung äußerer Schutzschichten das Innere der Betonkörper den Angriffen des Seewassers zu entziehen und für den inneren Teil magere Mischungen anzuwenden. Solche Maßnahmen können nur dann von Erfolg begleitet sein, wenn die Schutzschicht sich wirklich undurchdringlich zeigt; ihre Herstellung bedarf daher besonderer Sorgfalt, sie muß ferner aber auch so erfolgen, daß sie eine innige Verbindung mit dem Füllbeton besitzt und sich nicht davon loslösen kann.

[1]) Unter anderen: Handbuch für Eisenbetonbau, Bd. 2, Kapitel IV; Beton-Kalender usw.

In letzterem Falle würde dem Seewasser der Zugang zu den hinteren mageren Massen geöffnet und eine schnelle Zerstörung unausbleiblich sein. Dies wird besonders in Gebieten mit starkem Flutwechsel der Fall sein, wo durch das abwechselnd steigende und fallende Wasser ein kräftiges Einpressen und wieder folgendes Absaugen des in den Spalt eindringenden Wassers eintritt und infolgedessen immer neues Seewasser mit unzersetzten Salzen zugeführt wird. Zur Herstellung des Schutzes kann zunächst eine nicht zu schwache Schicht fetteren Betons benutzt werden. Je nach der Größe der Betonkörper wird ihre Stärke zu bestimmen sein, unter 30 bis 50 cm sollte man jedoch nicht herabgehen, so daß sich die Anwendung dieses Mittels bei kleinen Körpern nicht lohnt.

Ein praktisches Mittel zur gleichzeitigen Herstellung solcher Schichten besteht darin, daß man an der Grenze zwischen beiden Mischungen ein weitmaschiges Drahtgitter aufstellt, den Beton von beiden Seiten bis zur Höhe einer Stampfstärke (30 bis 50 cm) dagegen wirft, das Gitter in die Höhe zieht und das Feststampfen vornimmt. Man erreicht so eine innige Verbindung beider Mischungen.

Die Schutzschichten können aus natürlichen oder künstlichen Steinen hergestellt werden. Für die zu verwendenden Steine muß die Forderung aufgestellt werden, daß sie selbst dem Seewasser widerstehen und den bei der Besprechung der natürlichen Steine am Anfang dieses Kapitels entwickelten Ansprüchen genügen. Es kommen daher nur Granitsteine, harte Sandsteine oder Quarzite, unter Umständen Basaltsäulen und hartgebrannte Klinker in Frage. Um ein völlig dichtes Schutzmauerwerk mit diesen Steinen zu erzielen, wird man im allgemeinen nur bearbeitete Steine mit gut gerichteten Fugen zulassen und besonders fett und geschmeidig gemischten Mörtel verwenden; eine Stärke von 40 bis 50 cm bei natürlichen Steinen und bei Klinkern von ihrer Länge wird als ausreichend anzusehen sein. Behufs inniger Verbindung des Schutzmauerwerks mit der Füllmasse ist eine Verzahnung unerläßlich und ebenso auch ein gleichzeitiges Aufführen beider Teile, damit verschiedenartiges Setzen keine Trennungsrisse herbeiführt. Bei Basaltsäulen wird ihrer regelmäßigen Gestalt wegen von einer Bearbeitung abgesehen werden können, wichtig ist aber, daß der Basalt zu den Arten gehört, die nicht an der Luft zerfallen, wie bereits früher erwähnt wurde.

Kapitel VIII.

Anordnung der Hafenaußenwerke.

I. **Allgemeines und Bezeichnungen.** Molen, Leitdämme, Wellenbrecher. — Allgemeine Gesichtspunkte. — Anordnung der Hafeneinfahrt. — Zusammenstellung von Hafeneinfahrten.

II. **Häfen an felsigen und wenig veränderlichen Küsten.** a) Schutz durch zwei von einem gestreckten Ufer ausgehende Molen. — Beispiele. — b) Schutz durch

zwei von den gegenüberliegenden Ufern einer Bucht ausgehende Molen. — Beispiele. — c) Schutz durch zwei von den gegenüberliegenden Ufern ausgehende, annähernd parallele, aber hintereinanderliegende Molen. — Beispiele. — d) Schutz durch einen Wellenbrecher. — Beispiele. — e) Schutz durch Anwendung von Molen und Wellenbrechern.

III. **Häfen an veränderlichen, sandigen Küsten.** Allgemeines Verhalten der Sandküsten. — Verhalten der wandernden Sände gegenüber künstlichen Einbauten, — zur Küste senkrecht gerichtete Einbauten, — gegen die herrschenden Winde und den Küstenstrom gerichtete Einbauten (inklinante), — mit der Küstenströmung geneigt gerichtete Einbauten (deklinante). — Küsten mit Gerölle. — Schlußfolgerungen für die Anordnung der Hafenaußenwerke an veränderlichen Küsten.

A. **Häfen an der freien Küste.** a) Häfen mit zwei schräg aufeinander zulaufenden (konvergenten) Molen. — Beispiele. — b) Häfen aus zwei schräg aufeinander zulaufenden (konvergenten) Molen und parallel zur Küste gerichteten Wellenbrechern. — Beispiele. — c) Häfen aus einer schräg gegen das Ufer gerichteten Mole. — Beispiele. — d) Häfen aus Wellenbrechern oder Molen in der See mit durchbrochener Verbindung mit dem Lande. — Beispiele.

B. **Häfen an der Mündung von Flüssen, von Haffen, Seen oder Lagunen und Entwässerungskanälen.** a) Häfen an der Mündung von Flüssen. — 1. In Binnenmeeren. — Beispiele: Kolbergermünde, Stolpmünde, Neufahrwasser, Rügenwaldermünde, Windau, Sulinamündung, Mississippimündung. — 2. In Meeren mit Ebbe und Flut. — Beispiele: Dublin, Tynemündung, neue Maasmündung. — b) Häfen an der Mündung von Haffen oder Lagunen. — Beispiele: Malamocco, Lido, Swinemündung, Hafen von Pillau, Hafen von Memel. — c) Häfen an der Mündung von Entwässerungskanälen ohne natürliche Spülung. — Beispiel: Dünkirchen. — Außerdem Hafen von Nieuwediep und Wilhelmshaven. — d) Durchbrochene Dämme, Beispiele.

I. Allgemeines und Bezeichnungen.

Unter den Hafenaußenwerken sind diejenigen Bauwerke zu verstehen, die bestimmt sind, den für die Hafenflächen und Einfahrten erforderlichen Schutz zu gewähren. Sie sind am weitesten gegen die See vorgeschoben und haben den Angriffen des Seeganges und den Strömungen zu trotzen; von ihrer Anordnung und ihrem Bestand hängt die Sicherheit der im Hafen liegenden Schiffe und die Zugänglichkeit des Hafens ab. Die Außenwerke eines Hafens umschließen in der Regel die äußeren Hafenteile, die Reede und den Vorhafen, wo sich die Schiffe nach der Einfahrt oder vor dem Auslaufen aufhalten, im Gegensatz zu den inneren Hafenteilen, wo das Lösch- und Ladegeschäft stattfindet; sie sind daher seine wichtigsten Bestandteile; ihre Ausführung gehört infolge der vorgeschobenen Lage zu den schwierigsten und kostspieligsten Aufgaben des Hafenbaues.

Die Hafenaußenwerke sind entweder Molen, Leitdämme oder Wellenbrecher.

Molen sind vom Ufer des festen Landes ausgehende, in die See hinausgebaute Dämme, bestimmt zur Umschließung einer Wasserfläche, die als Hafen, Reede oder Vorhafen benutzt wird. Sie sind buhnenartige Bauwerke und werden meist geschlossen, seltener ganz oder teilweise durchbrochen ausgeführt.

Bemerkt sei noch, daß in einigen Häfen auch zum Ufer senkrecht oder geneigt gerichtete, mit Kaimauern eingefaßte und zum Anlegen für Schiffe be-

stimmte, mit Gleisen, Schuppen usw. versehene Vorbauten die Bezeichnung Molen führen (vergl. die Häfen von Genua, Abb. 48 und von Triest, Abb. 49). Dem Sinne nach stimmt diese Benennung mit der für die Außenwerke überein; der Klarheit wegen sollen diese Bauten als Hafenzungen bezeichnet werden, da sie zungenartig vom Ufer in die Wasserfläche hineingebaut sind. Bisweilen finden sich auch Molen und Hafenzungen zu einem Bauwerk vereinigt, indem den ersteren eine solche Breite gegeben wird, daß Schiffe an ihn anlegen und Gleise und Schuppen darauf Platz finden.

Leitdämme sind ebenfalls vom Ufer ausgehende molenartige Bauwerke, deren Hauptzweck in der Begrenzung des Einfahrtkanals zu einem Hafen, deren Sonderbestimmung aber in dem Leiten einer Strömung besteht; sie liegen häufig an Flußmündungen oder an den Öffnungen von Haffen oder Lagunen. Sehr häufig werden sie auch als Molen bezeichnet, mit denen sie auch ihrer Form nach übereinstimmen, durch ihre Bestimmung und Wirkungsweise unterscheiden sie sich jedoch von ihnen, so daß eine gesonderte Benennung am Platze ist. Auch die Leitdämme werden mitunter durchbrochen hergestellt.

Wellenbrecher sind Bauwerke, die ohne Verbindung mit dem Ufer im Meere liegen, gewissermaßen langgestreckte, künstliche Inseln bilden und die Abhaltung der Wellen von dem Hafen zur Aufgabe haben. Zu unterscheiden sind hiervon die sogenannten wellenbrechenden Böschungen, die innerhalb der Einfahrtkanäle in einzelnen Häfen angeordnet worden sind und aus offenen Kammern mit geneigtem Boden bestehen; sie sind bestimmt, die Höhe der in den Einfahrtkanal eintretenden Wellen herabzumindern.

Allgemeine Gesichtspunkte. Für die Auswahl der Art und Anordnung der Hafenaußenwerke ist in erster Linie die Gestalt der Küstenlinie und in zweiter Reihe die Beschaffenheit der Küste maßgebend; die Form der Werke im einzelnen hängt dagegen von den an der Baustelle beobachteten meteorologischen und hydrologischen Erscheinungen und der Art der den Hafen aufsuchenden Schiffe ab. Je nachdem die Küstenlinie die Gestalt einer fast geschlossenen, tiefen Bucht oder die Form einer flachen, offenen Ausbuchtung besitzt oder einen völlig glatten Verlauf zeigt oder an dem Hafenort durch eine Flußmündung und durch das Seetief eines Haffes oder einer Lagune durchbrochen wird, liegen andere Verhältnisse vor, die zu besonderen Lösungen führen.

Ebenso ist es von wesentlicher Bedeutung für die Hafenaußenwerke, ob die Ufer sich aus Fels oder aus beweglichem Sande, Kies oder Geröll aufbauen, ob ihre Linie beständig oder veränderlich ist.

Unter den in Betracht kommenden Naturerscheinungen spielt das Vorhandensein von Flut und Ebbe und die Größe des Flutwechsels, das Auftreten, die Richtung und Stärke von Küstenströmungen, die Richtung der herrschenden und der heftigsten Winde und des Seeganges, ferner das Vorkommen von Treibeis u. a. eine maßgebende Rolle.

Endlich wird die Anordnung der Außenwerke auch davon beeinflußt, ob ausschließlich oder überwiegend Segelschiffe den Hafen aufsuchen, wie es bei Fischereihäfen häufig der Fall ist, oder ob hauptsächlich Dampfer in Frage kommen oder beide Schiffsarten gemischt auftreten und ob für die Segler auf

das ständige Vorhandensein von Schlepphilfe durch kleine Dampfer gerechnet werden kann.

Anordnung der Hafeneinfahrt. Ein weiterer, alle übrigen bei der Anordnung der Hafenaußenwerke in Betracht kommenden Bedingungen überragender Gesichtspunkt betrifft die Lage der Hafeneinfahrt. Die Hafeneinfahrt bildet, wie die Tür beim Hause, den wichtigsten Teil eines Hafens, denn von ihrer richtigen Lage hängt die Zugänglichkeit des Hafens und damit die Möglichkeit der Erfüllung seines eigentlichen Zweckes ab.

Die Hafeneinfahrt wird durch den zwischen den Köpfen der Molen und Wellenbrecher oder zwischen einem Wellenbrecher und dem Lande verbleibenden Raum gebildet; ihre Güte hängt ab von ihrer Lage, Richtung, Weite, Form und Wassertiefe. Seitens der Schiffahrt werden an alle Hafeneinfahrten die gleichen Anforderungen gestellt, infolgedessen sollen diese nachfolgend im Zusammenhang behandelt werden; die durch die Küstenbeschaffenheit verursachten Bedingungen werden bei der Besprechung der einzelnen Hafenarten getrennt erörtert werden.

Die Lage muß so gewählt sein, daß sie von den einlaufenden Schiffen jederzeit bei allen Wind- und Strömungsverhältnissen gefahrlos genommen werden kann. Infolgedessen muß sie am weitesten gegen das Meer vorgeschoben werden und am äußeren Ende der Schutzwerke liegen, damit sie sowohl leicht aufgefunden wird, als auch den Schiffen beim Verfehlen der Einfahrt die Möglichkeit gibt, zu wenden und wieder die offene See zu gewinnen. Besondere Rücksicht muß hierbei auf die einlaufenden Schiffe genommen werden, da diese bei stürmischem Wetter in der Nähe des Hafens oft nicht mehr in die offene See zurückgelangen können und daher meist gezwungen sind, die Einfahrt zu nehmen oder zu scheitern.

Die Richtung der Einfahrt muß so angeordnet werden, daß sie möglichst wenig von der Richtung der heftigsten Wind- und der Sturmwellen abweicht, damit die Schiffe von diesen geführt werden und nicht seitlich auf die Molenköpfe geraten. Von dieser Bedingung wird abgewichen werden müssen, wenn die Größe der Reede oder des Vorhafens das Eintreten von Sturmwellen unerwünscht erscheinen läßt. Besonders darf dies dann nicht stattfinden, wenn in der Nähe der Einfahrt bereits Schiffe liegen müssen oder Hafenbauwerke, wie z. B. Schleusentore unter dem Seegang leiden würden. Es empfiehlt sich aber, mit der Einfahrtrichtung nicht mehr als 70° von der Richtung des heftigsten Seeganges abzuweichen, damit die Schiffe bei der Einfahrt möglichst wenig quer durch den Seegang getroffen werden. Damit auch für Segelschiffe die Ein- und Ausfahrt jederzeit möglich ist, darf die Einfahrtrichtung nicht mit der des herrschenden Windes zusammenfallen, sondern muß mit derselben mindestens einen Winkel von 65° bilden. Dabei muß in erster Linie auf die einlaufenden Schiffe Rücksicht genommen werden, da die ausgehenden Schiffe im schützenden Hafen günstigere Zeiten abwarten können. Die sich bei verschiedener Richtung der Sturmwellen und der Einfahrtrichtung ergebenden Verhältnisse werden näher durch die Abb. 148 bis 150 und die hinzugefügten Bemerkungen erläutert. Je größer der Winkel zwischen der Richtung der Sturmwellen und der Hafeneinfahrt wird, um so ungünstiger ist die Wellen-

bewegung vor der Einfahrt für die Schiffe, da sie dann quer zur Wellenrichtung liegen. Es empfiehlt sich daher, den an der Luvseite oder am Winde belegenen Molen- oder Wellenbrecherkopf vorzuschieben, wie es Abb. 149 zeigt, und damit die Einfahrt zu decken, damit die Schiffe nach etwaiger Wendung gegen den Seegang nur mit geringer Geschwindigkeit in ruhigem Wasser einlaufen können.

In bezug auf eine vorhandene Küstenströmung muß die Einfahrtrichtung möglichst so gelegt werden, daß die Schiffe während der Einfahrt nicht quer von der Strömung getroffen werden, da sonst die Gefahr besteht, daß sie, während ihr Vorderteil sich bereits im Schutze befindet, durch den auf den hinteren Teil wirkenden Druck gedreht werden (vergl. Abb. 150) und in Gefahr kommen, auf den am Winde und an der Strömung liegenden Wellenbrecher zu laufen.

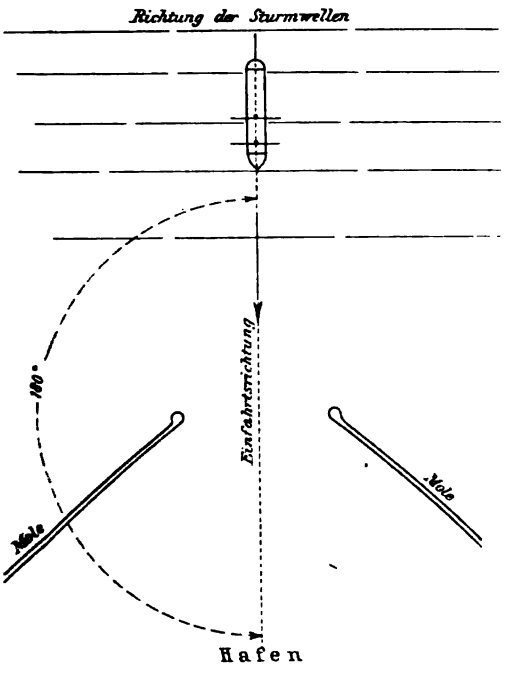


Abb. 148. Einfahrtsrichtung und Sturmrichtung zusammenfallend, Sturmwellen ungehindert eintretend, daher nur bei großer Reede anwendbar.

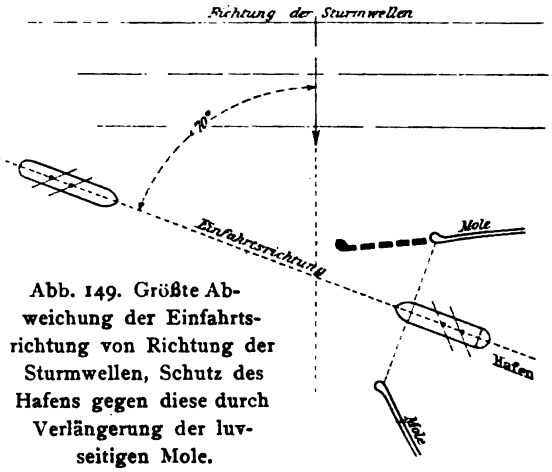


Abb. 149. Größte Abweichung der Einfahrtsrichtung von Richtung der Sturmwellen, Schutz des Hafens gegen diese durch Verlängerung der luvseitigen Mole.

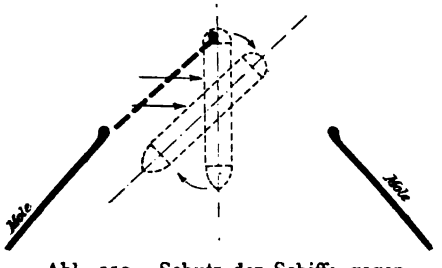


Abb. 150. Schutz der Schiffe gegen seitliche Küstenströmung durch einseitige Molenverlängerung.

Auch hierfür kann eine Verlängerung des am Winde belegenen Endes der Mole oder des Wellenbrechers unter Umständen nützlich sein.

Alle diese Gesichtspunkte für die Richtung der Hafeneinfahrt haben ihre Hauptbedeutung in Häfen, die von Seglern aufgesucht werden; sie spielen eine geringere Rolle, wenn überwiegend Dampfer in einem Hafen verkehren und wenn für das Einholen der Segelschiffe stets Schleppdampfer zur Verfügung stehen.

Lassen sich für die Schiffahrt bei den gegebenen Wind- und Wellenver-

hältnissen durch eine einzige Einfahrt keine günstige Bedingungen erzielen, so kann es in Frage kommen, eine zweite oder auch dritte Einfahrt anzulegen, von denen je nach den augenblicklichen Umständen die günstigste benutzt wird.

Ebenso schwierig wie die Wahl der passendsten Einfahrtrichtung ist die Bemessung der Weite einer Hafeneinfahrt. Bei der Beurteilung dieser Frage müssen zwei sich entgegenstehende Gesichtspunkte berücksichtigt werden: einerseits muß die Einfahrt so weit bemessen sein, daß die den Hafen aufsuchenden Schiffe bequem und ohne Gefahr einlaufen können, das zu wählende Maß hängt also von der Größe der Schiffe und des Schiffsverkehrs ab, und anderseits muß die Öffnung möglichst klein sein, um das Eintreten des Seeganges in den Hafen in einer den dort liegenden Schiffen und den Bauwerken schädlichen Weise zu verhindern. In dieser Beziehung ist daher die Größe und Gestalt des Vorhafens mitbestimmend wie auch die Richtung der Einfahrt zum Seegang und die Größe desselben.

Die Einfahrt wird um so enger sein können, je mehr Einfahrt- und Sturmrichtung zusammenfallen (vergl. Abb. 148) und wenn ein großer Vorhafen dahinterliegt, da die Schiffe dann genügend Raum zum Abstoppen haben und mit voller Fahrt, gut steuernd, einlaufen können. Umgekehrt wird sie weiter sein müssen, wenn die Schiffe bei der Einfahrt sich gegen den Wind oder den Seegang wenden und ihre Geschwindigkeiten mäßigen müssen, so daß sie abtreiben können; dies wird besonders bei dem Vorhandensein einer starken Küstenströmung berücksichtigt werden müssen, da die Schiffe dann leicht etwas schräg gestellt die Einfahrt durchlaufen.

Bei lebhaftem Schiffsverkehr fällt auch der Umstand für die Weite der Einfahrt noch ins Gewicht, daß die Einfahrt durch ein etwa quer darin gestrandetes Schiff nicht gänzlich versperrt wird; es wird daher die Einfahrtweite die Länge der Schiffe übertreffen müssen. Auch ist es erwünscht, daß bei ruhigem Wetter gleichzeitig mindestens je ein großes Schiff ein- und ausfahren kann; bei Fischereihäfen kommt es aus den schon früher in Kapitel III erwähnten Gründen häufig vor, daß eine große Anzahl Fahrzeuge gleichzeitig die Einfahrt zu gewinnen versucht.

Eine zu enge Einfahrt kann ferner in Tidemeeren bei Ebbe in der Einfahrt einen so starken Ausstrom hervorrufen, daß es den Schiffen nicht möglich ist, dagegen anzukämpfen und wiederum kann eine zu weite Einfahrt an veränderlichen Küsten leicht Veranlassung zum Eindringen von Sandmassen in den Hafen geben.

Bisweilen kann es umgekehrt wieder erwünscht sein, eine genügende starke Strömung und einen gewissen Seegang in dem Vorhafen zu erhalten, um der Ablagerung der bei Sturm in den Hafen eindringenden Sinkstoffe entgegenzuwirken.

Aus vorstehenden Ausführungen ist ersichtlich, wie sehr die einzelnen für die Bemessung der Einfahrtweiten zu beachtenden Gesichtspunkte sich gegenüberstehen. Für die Entscheidung wird eine genaue Prüfung der örtlichen Verhältnisse, ein sorgfältiges Abwägen des Einflusses jeder Bedingung und nicht zum wenigsten ein Vergleich mit anderen bewährten Beispielen notwendig und nützlich sein.

Einen ungefähren Anhalt können die in nachstehende Zusammenstellung aufgenommenen Einfahrtweiten für Häfen verschiedener Art geben.

Zusammenstellung von Hafeneinfahrtweiten.

Fischereihäfen.

Hela	50 m
Urk	30 „
Geestemünde	120 „
Scheveningen	130 „

Ostseehäfen.

Kolberg	40 m
Stolpmünde	40 „
Rügenwaldermünde	40 „
Neufahrwasser	63 „
Saßnitz	125 „
Libau	267, 213 und 142 „
Windau	320 „

Strommündungen.

Sulinamündung	180 m
Tynemündung, früher 396,5, jetzt	360 „
Dublin, Liffeymündung	305 „
Maaßmündung	685 „
Mississippimündung, Süd-Paß	305 „
Südwest-Paß	1000 „

Haffmündungen.

Swinemünde	350 m
Pillau	373 „
Memel	375 „
Malamocco	470 „
Venedig, Lido	900 „

Ausländische Häfen.

Dünkirchen	130 m
Madras	früher 165, jetzt 122 „
Portland	168 und 183 „
Le Havre	200 „
Leixoes	220 „
Kingstown	229 „
Dover	244 und 183 „
Ymuiden	260 „
Algier	340 „
Carthagena	350 „
Palermo	420 „
Genua	500 „

Bei der Ausbildung der Form der Hafeneinfahrten muß die Beeinflussung der von See kommenden Wellen berücksichtigt werden.

Bekanntlich (vergl. Kapitel V, S. 145) werden Wellen durch eine lotrechte oder stark geneigte (bis 45°) Wand zurückgeworfen, während vor der Mauer ein verstärktes Auf- und Abschwingen stattfindet (vergl. Abb. 79), die zurückgeworfenen Wellen haben daher das Bestreben, ein Schiff von der Wand fernzuhalten; dagegen brechen Wellen, die auf einen flachgeneigten Strand auflaufen, etwa in einer ihrer Höhe gleichen Wassertiefe, und verwandeln die schwingende Wasserbewegung in eine nach dem Ufer zu fortschreitende, sie üben daher eine anziehende Wirkung auf schwimmende Gegenstände aus. Wenn nun aus baulichen Gründen den Molen und Wellenbrechern im oberen Teile zweckmäßig eine steile Gestalt gegeben wird, so muß unter Beachtung der eben angeführten Erscheinungen die Form der Molen oder Wellenbrecher enden zu beiden Seiten der Einfahrt so gewählt werden, daß weder die zurückgeworfenen Wellen, noch das verstärkte Auf- und Abschwingen vor den Köpfen Unzuträglichkeiten herbeiführen. Treffen die zurückgeworfenen Wellen mit den von hoher See kommenden vor oder in der Einfahrt zusammen, so entsteht dort infolge der Durchdringung eine unregelmäßige See, die selbst großen Schiffen unbequem und kleineren gefährlich wird (vergl. Abb. 151a). Es empfiehlt sich daher, die Enden des sonst gerade oder konvex gekrümmten, windseitigen oder seeseitigen Bauwerks an dem Kopfe unter entsprechender Verstärkung leicht konkav zu krümmen oder die gebräuchliche Verstärkung nach außen zu legen, damit die zurückgeworfenen Wellen von der Einfahrt abgelenkt werden

(vergl. Abb. 151b u. c); beides ist aber nur an sinkstofffreien, felsigen Küsten ratsam, da an veränderlichen Küsten, wie weiterhin noch ausgeführt wird, eine

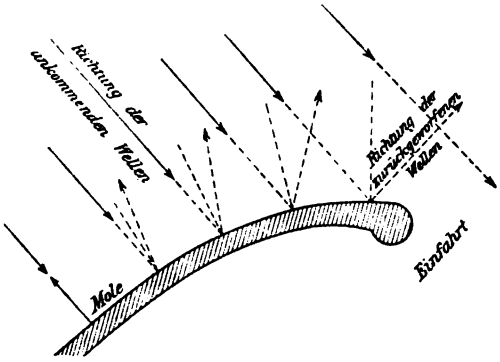


Abb. 151a. Wellen nach der Einfahrt hingelenkt.

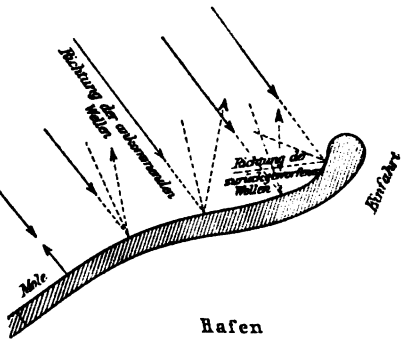


Abb. 151b. Wellen von der Einfahrt abgelenkt.

Fortführung der konvexen Form bis zum Molenkopf unter Vermeidung von Vorsprüngen zweckmäßig ist.

In ähnlicher Weise muß bei dem unter dem Winde liegenden Molenende untersucht werden, wie es von den Sturmwellen getroffen wird und wohin sie zurückgeworfen werden; um zu verhindern, daß sie sich mit den unmittelbar von See kommenden Wellen in der Hafeneinfahrt kreuzen, muß auch hier das Ende der Mole oder des Wellenbrechers nach innen oder nach außen umgebogen werden. Wenn wandernde Geschiebe an der betreffenden Küste nicht vorhanden sind, ist es auch hier empfehlenswert, die Verbreiterung des Molenkopfes nach außen zu legen.

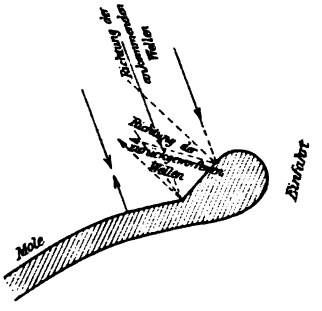


Abb. 151c. Wellen von der Einfahrt abgelenkt.

Weiter ist bei der Form der Molen- oder Wellenbrecherenden zu beachten, daß die von ihnen zurückgeworfenen Wellen nicht in das Innere des Hafens dringen und dort an einzelnen Stellen infolge von Durchdringungserscheinungen unbequemen Wellenschlag erzeugen. Auch die unmittelbar in die Einfahrt eintretenden Wellen können durch Abprallen von irgend einem Bauwerk an oft von der Einfahrt weit entfernten Stellen Veranlassung zu ungewöhnlichem, kleinen Schiffen schädlichem Wellenschlag geben. Hierbei spielt die Gestalt des Vorhafens eine wesentliche Rolle; ist sie z. B elliptisch oder parabolisch, so werden die von den Wänden zurückgeworfenen Wellen nach dem Brennpunkt zu laufen und dort eine große Höhe erreichen. Ein solcher Fall ist z. B. in dem neuen Vorhafen in Pillau eingetreten und hat dort zu der Errichtung einer besonderen Schutzwand vor dem Bauhafen geführt (Abb. 153). Es ist oft schwer vorauszusehen, welchen Verlauf die Wellen im Inneren eines Hafens nehmen werden und wie man schädlichen Wirkungen am besten vorbeugen kann; dies zeigt besonders das nachstehende Beispiel von dem Hafen zu Antibes[1]) (Abb. 154).

[1]) Quinette de Rochement et Henry Desprèz, Cours de Travaux Maritimes, Bd. I, S. 84.

Dort wurde gegen Wellen aus NW die innere Mole durch die Strecke *ab* verlängert. Die unerwartete Folge war aber, daß nun Wellen aus NO von dem Ende der neuen Mole in das Hafeninnere geworfen wurden, die bisher an dem Hafen vorbeigingen; man mußte schließlich das äußere Molenstück *ab* abbrechen und durch das Stück *ac* ersetzen. Ein ähnlicher Fall trat bei dem Hafen von Ciotat ein (Abb 154), wo durch die Mole *ab* Schutz gegen Seegang aus NO erzielt werden sollte und nun Wellen aus S und SO Eingang fanden, so daß schließlich noch die Mole *cd* gebaut werden mußte.

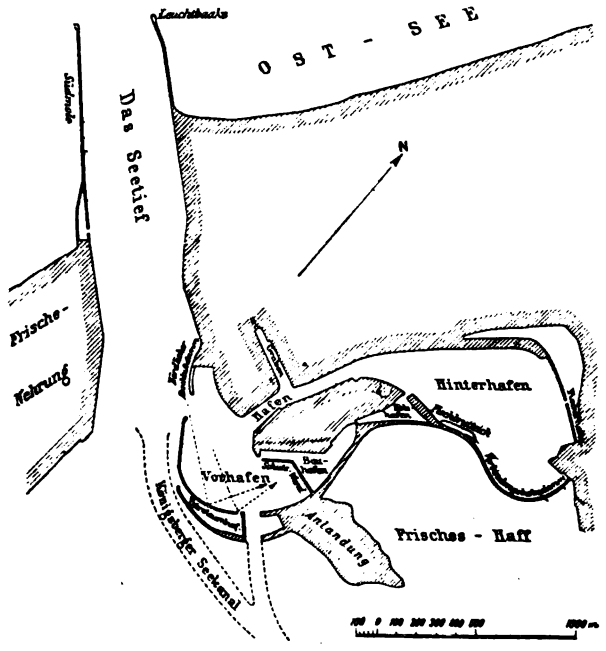


Abb. 152. Hafen von Pillau, Beispiel für Entstehung starker Wellenbewegung im Innern eines Hafens durch zurückgeworfene Wellen.

Vorstehende Ausführungen zeigen, wie sorgfältig bei der Formung der Molen- oder Wellenbrecherenden an der Einfahrt vorgegangen werden muß.

Es ist ferner für die Ruhe des Wasserspiegels im Hafen von wesentlichem

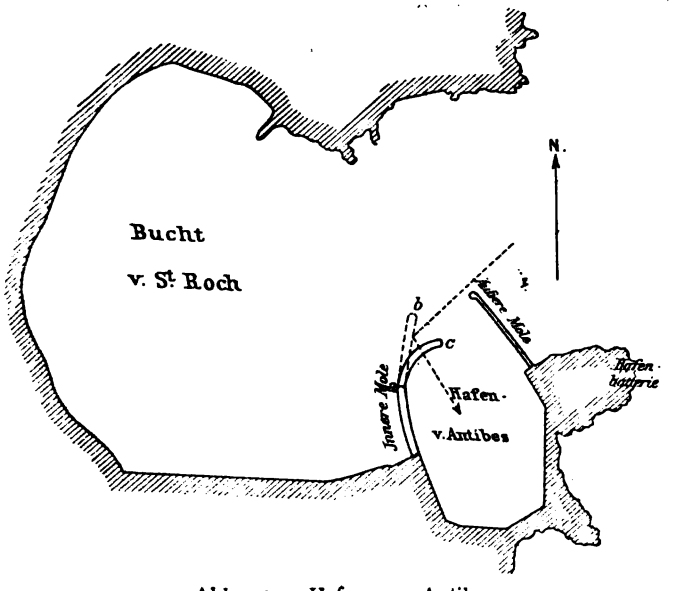


Abb. 153. Hafen von Antibes.

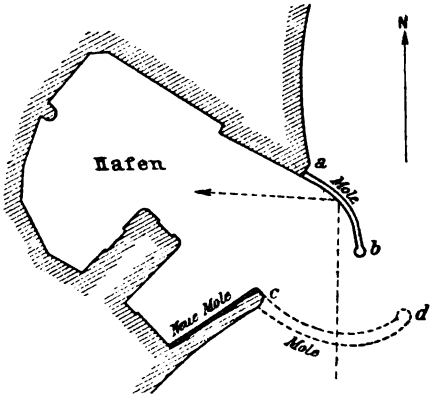


Abb. 154. Hafen von Ciotat.

Einfluß, wie die Molen- oder Wellenbrecherenden und die daran anschließenden Strecken zueinander liegen. Sind sie parallel miteinander, so werden die ein-

laufenden Wellen ungeändert weiterlaufen; verengen sie sich dagegen trichterförmig, so erhöhen sie sich allmählich und erreichen an der engsten Stelle eine größere Höhe als beim Eintritt Umgekehrt wird sich die Höhe der Wellen bei sich erweiternden Molen verringern, und zwar umsomehr, je stärker die Erweiterung eintritt. Die Verringerung der Wellenhöhe läßt sich nach der im Kapitel V auf S. 148 erläuterten Formel von Stevenson angenähert bestimmen.

Man erkennt hieraus, daß eine trichterförmige, sich verengende Gestaltung bei den äußeren Einfahrten unter allen Umständen mit Rücksicht auf die Ruhe des Wasserspiegels im Hafen vermieden werden muß, sie kann nur im inneren Hafen, wo kein Seegang mehr herrscht, bei den Zugängen zu einzelnen Becken in Frage kommen. Sehr vorteilhaft ist dagegen eine sich nach innen stark erweiternde Form der Molenenden.

Bezüglich der Gestalt der Molen- oder Wellenbrecherköpfe ist zu bemerken, daß sie die volle Ausnutzung der Einfahrtweite um so besser gestatten, je steiler sie sind; im übrigen ist eine abgerundete Form mit Rücksicht auf die Widerstandsfähigkeit gegen die Angriffe der Wellen und auf Berührungen mit Schiffen einer kantigen vorzuziehen.

Bei der Bemessung der Wassertiefe in der Hafeneinfahrt muß sowohl den niedrigsten Wasserständen, bei denen der Hafen zugänglich sein soll, als auch dem Umstand Rechnung getragen werden, daß die Schiffe auch beim stärksten Seegang nicht auf den Grund stoßen. In der ersten Hinsicht wird bei Häfen in den Meeren ohne Flut und Ebbe und in den Tidemeeren, wenn sie jederzeit zugänglich sein sollen, der niedrigste Wasserstand zugrunde gelegt werden müssen; werden letztere nur bei Flut angelaufen, so muß die notwendige Tiefe wenigstens bei jeder Flut, also auch bei dem niedrigsten Hochwasser der tauben Fluten vorhanden sein. Mit bezug auf den Seegang wird man zu der bei ruhigem Wasser erforderlichen Tiefe für kleine und mittlere Schiffe noch etwa $^2/_3$ und für große Schiffe etwa $^1/_2$ der Wellenhöhe hinzurechnen.

Alle bei der Anordnung und Ausbildung von Hafeneinfahrten in Betracht kommenden Gesichtspunkte lassen sich am besten in den nachstehend wiedergegebenen, von L. Franzius[1]) aufgestellten acht Regeln zusammenfassen:

1. Die Mündung soll von allen Teilen des Hafens am weitesten seewärts liegen, damit sie mit der geringsten Gefahr anzulaufen ist und damit den Schiffen bei etwaigem Verfehlen des richtigen Einlaufens seitwärts der nötige Seeraum zu Gebote steht, um die hohe See gewinnen oder doch wenden und den Einlauf nochmals versuchen zu können.

2. Die Einfahrtrichtung soll bei genügendem Raum des Vorhafens mit der Richtung des heftigsten Seeganges zusammenfallen, damit das einlaufende Schiff von demselben geleitet und nicht seitwärts gegen die Einfassung der Mündung geworfen werde

3. Bei ungenügendem Raum des Vorhafens soll die Einfahrtrichtung einen spitzen Winkel bis etwa 70° gegen die Richtung des heftigsten

[1]) Handbuch der Baukunde, Der Wasserbau von L. Franzius, Berlin 1890. — Handbuch der Ingenieurwissenschaften, 3. Bd., 3. Abteilung, 3. Auflage, S. 364.

Seeganges bilden. Dabei muß die Einfahrt jedoch nach der Seite, von welcher derselbe kommt, mit einem Hafendamm (Mole) gedeckt sein, damit das Schiff nach etwaiger Wendung gegen den Seegang mit geringerer Geschwindigkeit, aber im ruhigen Wasser einlaufen könne.

4. Die Einfahrtrichtung soll mit den herrschenden Winden nicht zusammenfallen, sondern einen zum Ein- und Aussegeln genügenden Winkel von mindestens 65° bilden.

5. Die Mündung soll nie weiter sein, als das sichere Einlaufen erfordert, damit der Seegang innerhalb möglichst abgeschwächt werde.

6. Wo in der eigentlichen Mündung noch ein heftiger Seegang unvermeidlich ist, soll möglichst nahe dahinter eine erhebliche Erweiterung folgen, damit die einlaufenden Wellen ihre Höhe und Kraft verlieren und die Schiffe die geeigneten Wendungen machen können.

7. Die Mündung soll, wo noch heftiger Seegang stattfindet, nie von außen nach innen sich trichterförmig verengen, weil dadurch eine Verstärkung der Wellen hervorgerufen werden würde.

8. Die am weitesten vortretenden Teile der Mündung sollen möglichst steil, eben und glatt sein.

II. Häfen an felsigen und wenig veränderlichen Küsten.

Verhältnismäßig am einfachsten kann den Anforderungen an die Hafeneinfahrt und an Ruhe und Sicherheit in den Hafenorten durch künstliche Mittel entsprochen werden, wo die Ufer felsige Beschaffenheit aufweisen und von wandernden Geschieben frei sind, also eine nahezu

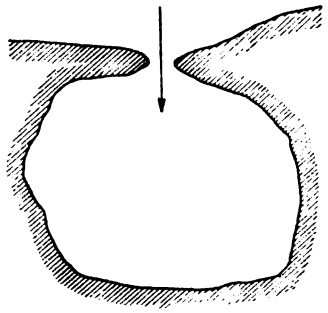


Abb. 155. Hafen in tiefer Bucht, mit enger Mündung und mit natürlichem Schutz.

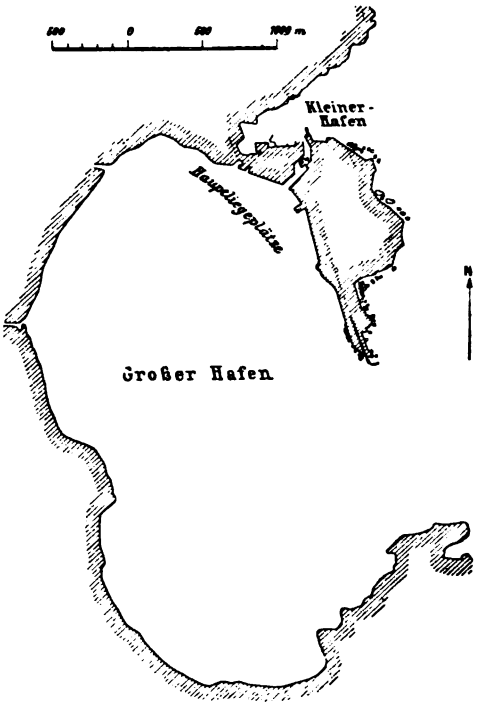


Abb. 156. Hafen von Syrakus, Beispiel eines natürlich geschützten Hafens.

unveränderliche Küstenlinie aufweisen. Es werden um so weniger und kürzere Bauwerke genügen, je größer der natürliche Schutz ist, wie dies bei vorhandenen Ufereinschnitten und tiefen Buchten der Fall ist. An einzelnen Plätzen bilden vorgeschobene Landzungen natürliche Molen (Abb. 155), so daß in solchen

natürlichen Häfen künstliche Schutzwerke gar nicht erforderlich sind und es zur Vervollkommnung der Hafenanlagen nur nötig ist, im Inneren durch Kaimauern Lösch- und Ladegelegenheit zu schaffen.

Von diesen durch die Natur begünstigten Häfen seien als Beispiele Syrakus (Abb. 156) und Brindisi (Abb. 157) genannt. Eine sehr gut natürlich geschützte Bucht ist ferner der alte Hafen von Marseille (vergl. den östlichen Teil dieses Hafens, Abb. 47 auf S. 109). Ebenso ist der japanische Hafen

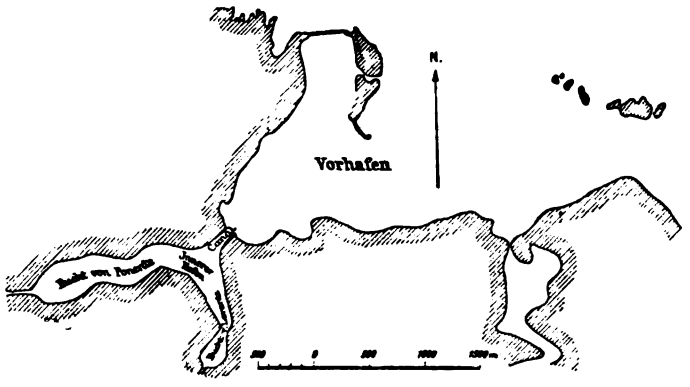


Abb. 157. Hafen von Brindisi, Beispiel eines natürlich geschützten Hafens.

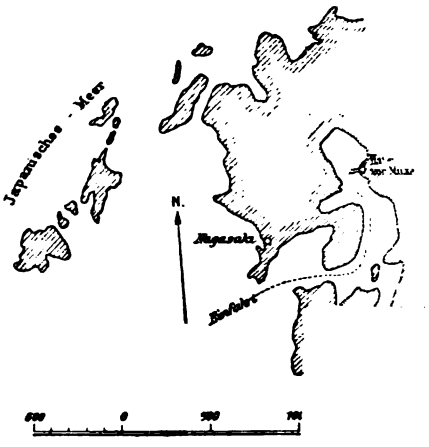


Abb. 158. Hafen von Miike, eines natürlich geschützten H

von Miike ein gutes Beispiel eines natürlich geschützten Hafens (Abb. und auch der Piräus, der Hafen von Athen. Auch New York (Ab kann in gewissem Sinne dazu gerechnet werden.

Wo weniger günstige Verhältnisse vorliegen, muß für den fehl natürlichen Schutz künstlich Ersatz geschaffen werden. Bei der Anlag zum Schutz dienenden Bauwerke ist außer den durch die Einfahrt gestellte dingungen zu beachten, daß eine genügend große Wasserfläche als Reede Vorhafen umschlossen wird (vergl. die Ausführungen in Kapitel II) un diese möglichst ruhiges Wasser zeigt und nicht durch irgendwie auf wegen hineingelangte, zurückgeworfene Wellen beunruhigt wird (verg Beispiele von Antibes und Ciotat (Abb. 153 u. 154).

Die Verbesserung des natürlichen Schutzes kann in sehr verschiedenartiger Weise erreicht werden.

a. Schutz durch eine von einer Seite der Bucht oder vom Ufer ausgehende Mole.

In diesem Falle liegt die Einfahrt zwischen dem Molenkopf und dem gegenüberliegenden Ufer (Abb. 159); sie erreicht in den meisten Fällen eine große Breite, die im Hinblick auf die ungünstige

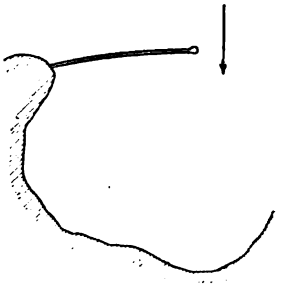


Abb. 159. Hafen in tiefer Bucht mit weiter Mündung. Schutz durch eine Mole.

[1]) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1909, S. 2039.

Lage einer solchen Einfahrt vorteilhaft, in bezug auf die Ruhe des Wasserspiegels im Hafen jedoch nur bei großen Wasserflächen zulässig ist.

Beispiele derartiger Hafenbildungen sind durch die ältesten Teile der Häfen von Genua und Triest gegeben. Bei dem ersten wurde der im östlichen Teil der halbkreisförmigen Bucht vorhandene natürliche Schutz durch die Verlängerung einer Landzunge und deren Ausbau zum Molo Vecchio (Abb. 48, auf S. 112) bedeutend vermehrt; in ähnlicher Weise wurde in Triest (Abb. 49 auf S. 114) der Schutz der kleinen Bucht Sachetta vergrößert. Auch in Dover (Abb. 8 auf S. 15) bestand lange Jahre hindurch nur der durch den Admirality Pier hervorgerufene Schutz.

Die Anordnung nur einer

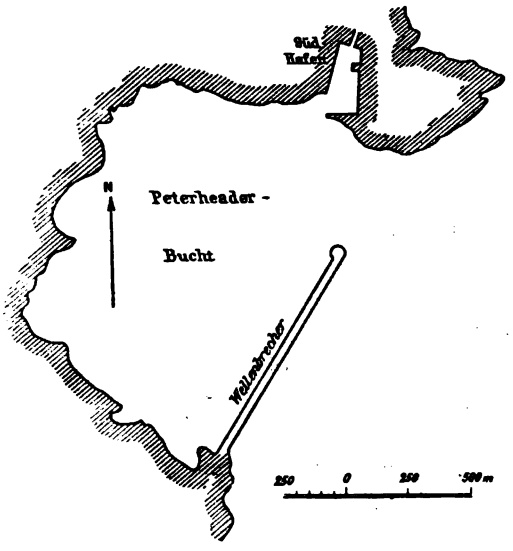


Abb. 160. Hafen von Peterhead, Schutz durch eine vom Ufer ausgehende Mole.

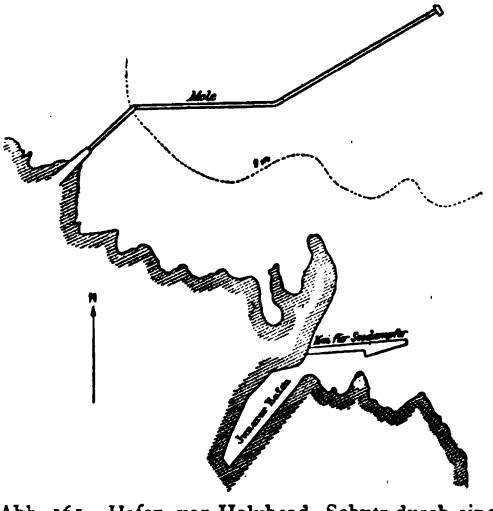


Abb. 161. Hafen von Holyhead, Schutz durch eine vom Ufer ausgehende Mole.

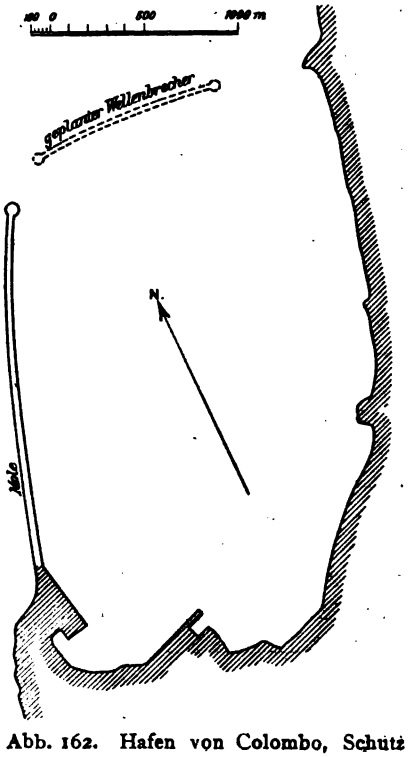


Abb. 162. Hafen von Colombo, Schutz durch eine sehr lange vom Ufer ausgehende Mole.

Mole zur Bildung einer geschützten Reede wird besonders durch den kleinen Fischerei- und Zufluchtshafen von Peterhead (Abb. 160) und durch den Zufluchtshafen von Holyhead (Abb. 161) veranschaulicht.

Wo die für den Hafen bestimmte Bucht flach gestaltet ist, erhalten die

Molen eine bedeutende Länge, da durch ihre Errichtung der Hafen erst im wesentlichen geschaffen wird. Ein Beispiel für eine derartige Anordnung wird durch den Hafen von Colombo auf Ceylon (Abb. 162) veranschaulicht.

Doch hat sich hier, infolge des Bedürfnisses nach größerem Schutz, die Hinzufügung eines Wellenbrechers als wünschenswert erwiesen.

Mitunter wird die Binnenseite der Mole kaiartig ausgebildet und mit Lösch- und Ladeeinrichtungen versehen, so daß die Mole gleichzeitig die gesamten Hafenanlagen darstellt, wie es Abb. 163 durch den Lageplan der türkischen Hafen von Zonguldak erläutert.

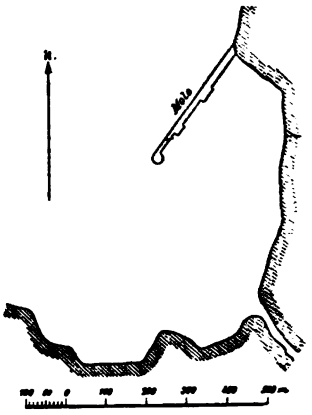


Abb. 163. Hafen von Zonguldak, Schutz durch eine vom Ufer ausgehende, mit Kaianlage versehene Mole.

b. Schutz durch zwei von den Ufern ausgehende Molen.

a) Schutz durch zwei von einem gestreckten Ufer ausgehende Molen. Diese häufig vorkommende Anordnung (vergl. Abb. 164) ist sowohl bei glatten Ufern als auch bei geringeren und stärkereren Ufereinbuchtungen zu finden; sie gestattet eine günstige Anordnung der Hafeneinfahrt, hat aber sonst den Nachteil, daß der Seegang ungehindert in die umschlossene Wasserfläche eintritt und schädlichen Seegang erzeugt. Diesen Übelstand kann man nur durch eine Einschränkung der Öffnung, soweit es die Schiffahrt irgend gestattet (vergl. die Ausführungen auf S. 250), oder durch die Größe der von den Molen umschlossenen Fläche und durch eine starke Erweiterung des Vorhafens unmittelbar hinter der Einfahrt begegnen (Stevensonsche Formel). An anderen Orten hat man durch Verlängerung einer Mole das Eintreten des Seeganges verhindert oder im Hafen durch eine besondere Mole oder einen Wellenbrecher weiteren Schutz geschaffen.

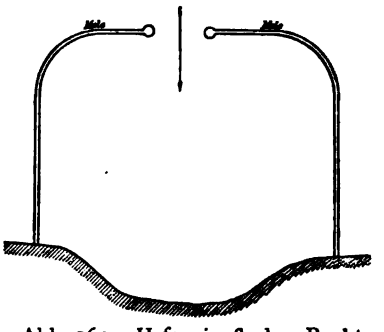


Abb. 164. Hafen in flacher Bucht oder an glatter Küste, Schutz durch zwei vom Ufer ausgehende Molen.

Ein Beispiel für die Anordnung zweier Molen vom glatten Ufer aus bildet der Hafen von Kingstown an der Ostseite Irlands, südlich von Dublin (Abb. 165), mit einer kleinen Mole im Innern zum Schutz gegen den heftigen Seegang, der hier besonders stark empfunden wurde. Ähnlich liegen die Verhältnisse in dem einige Kilometer nördlich der Dueromündung belegenen portugiesischen Hafen von Leixoes (Abb. 166), wo auch durch innere Molen noch ein stärker geschützter Liegeplatz hergestellt worden ist.

b) Schutz durch zwei von dem gegenüberliegenden Ufer einer Bucht ausgehende Molen. Die vorstehenden, an einer glattgestreckten Küste erbauten Häfen zeigen annähernd senkrecht vom Ufer ausgehende Molen, die

sich erst später einander zuwenden, in Leixoes mit einer starken Krümmung, in Kingstown dagegen mit einer mehrmaligen, plötzlichen Richtungsänderung. Ähnliche Formen weisen die italienischen Häfen Ankona, Barletta, Cagliari und andere auf. Je mehr das Ufer von Natur ausgebuchtet ist, um so geneigter sind die Molen zur allgemeinen Uferrichtung angelegt, bis sie bei genügend tiefen Buchten der allgemeinen Richtung der Küste folgen, zum Ufer senkrecht und gleichgerichtet sich gegenüberstehen.

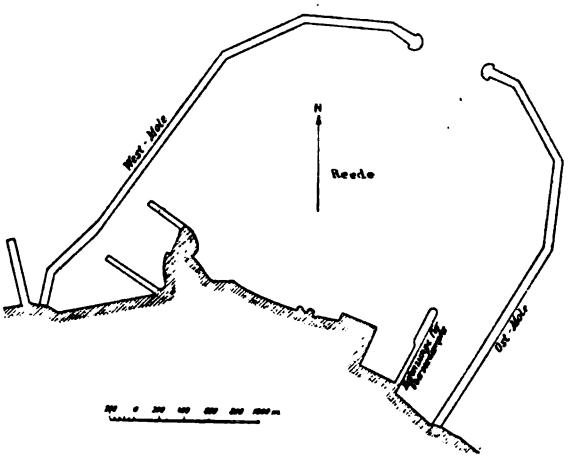


Abb. 165. Hafen von Kingstown, Schutz durch zwei vom Ufer ausgehende Molen.

Als Vertreter dieser Formen können die Häfen von Algier an der nordafrikanischen und von Palermo an der nordsizilianischen Küste angesehen werden. In Algier (Abb. 167) wurde die Hafenbildung durch die vorhandenen Felsvorsprünge unterstützt, die Molen konnten daher im

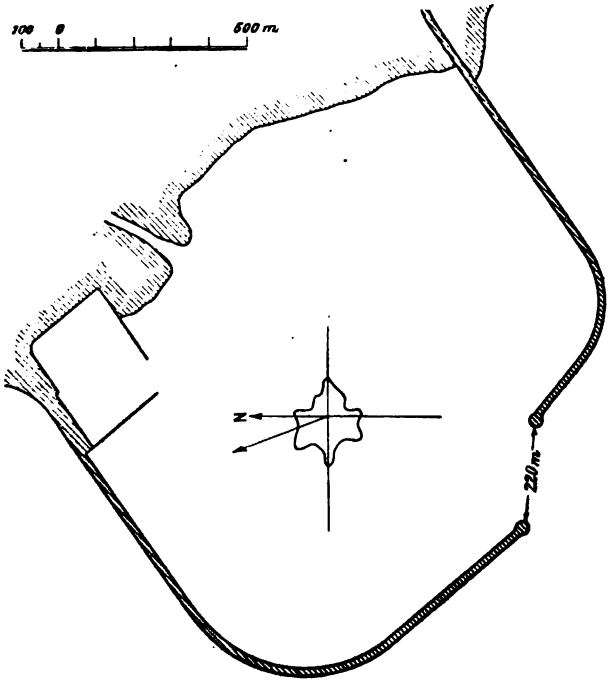


Abb. 166. Hafen von Leixoes, Schutz durch zwei vom Ufer ausgehende Molen.

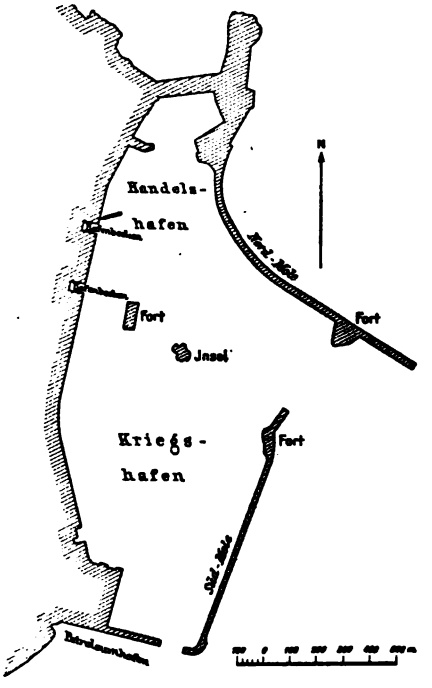


Abb. 167. Hafen von Algier, Schutz durch zwei von den gegenüberliegenden Ufern ausgehende, annähernd mit den Ufern gleichlaufende Molen.

wesentlichen aufeinander zugeführt werden; nur die Nordmole wurde etwas seewärts geschwenkt, um die Einfahrt mehr gegen heftigen Seegang zu schützen. Trotzdem herrschte bei starken Stürmen im Hafen ein solcher Wellenschlag, daß man sich entschloß, zur Vermehrung der Schutzwirkung die Nordmole noch um 200 m zu verlängern.

Eine gewisse Ähnlichkeit hat der Hafen von Palermo (Abb. 168) mit dem von Algier, doch sind hier infolge der günstigeren Gestalt der Bucht die

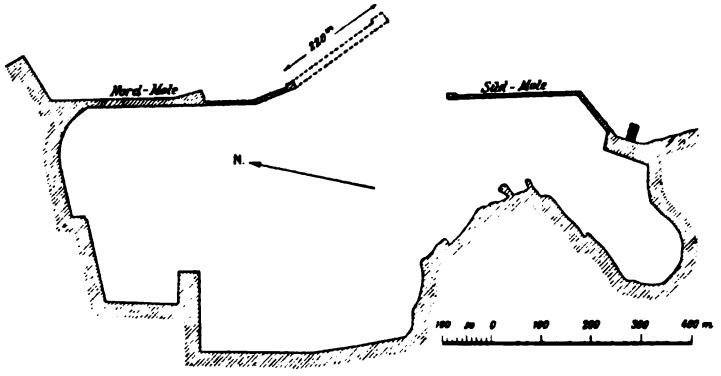


Abb. 168. Hafen von Palermo, Schutz wie bei Abb. 167.

beiden Molen noch deutlicher einander entgegengerichtet. Da aber auch hier der bisher erreichte Schutz nicht genügt, wird eine seewärts gerichtete Verlängerung der Nordmole geplant.

Die soeben beschriebene Molenanordnung führt bei sehr tiefen Buchten zu einer weiteren, mehrfach vorteilhaft verwendeten Molenanordnung.

c) Schutz durch zwei von den gegenüberliegenden Ufern ausgehende, annähernd parallele, aber hintereinanderliegende Molen (Abb. 169). Hierbei läßt sich leicht ein vollkommener Schutz gegen Seegang

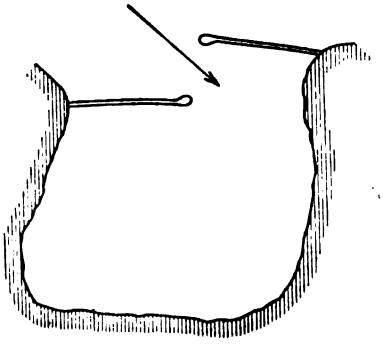


Abb 169. Hafen in tiefer Bucht, Schutz durch zwei hintereinander von den gegenüberliegenden Ufern ausgehende Molen.

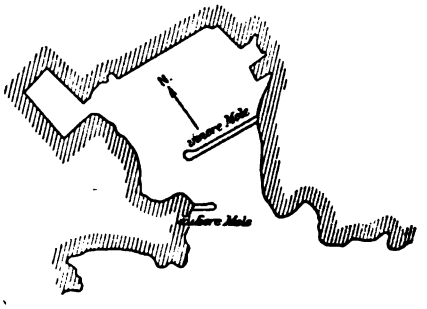


Abb. 170. Hafen von Cartagena, Beispiel zu Abb. 169.

im Hafen erreichen; da die Schiffe jedoch bei der Einfahrt eine Wendung um die innere Mole herum machen müssen, so muß die Einfahrt reichlich weit bezw. der Abstand der Molen hinreichend groß bemessen werden. Ein Ver-

treter dieser Molenanordnung ist der am Mittelländischen Meer belegene spanische Hafen von Cartagena (Abb. 170); dort wurde in neuerer Zeit der vorhandene natürliche durch den Bau zweier Molen vergrößert. Eine ähnliche Anordnung besitzt der durch Abb. 48 auf S. 112 dargestellte Hafen von Genua, bei dem die annähernd parallelen Molen ursprünglich durch den Molo Vecchio und den Molo Nuovo gegeben waren. Bei der Vergrößerung des Hafens wurde die gleiche Anordnung durch den Molo Duca di Galliera und den Molo Giano wiederholt; die Einfahrtweite beträgt hier 500 m.

c. Schutz durch einen Wellenbrecher.

Die künstliche Bildung eines Hafens durch einen freiliegenden Wellenbrecher kommt sowohl zur Verbesserung des natürlichen Schutzes in Buchten

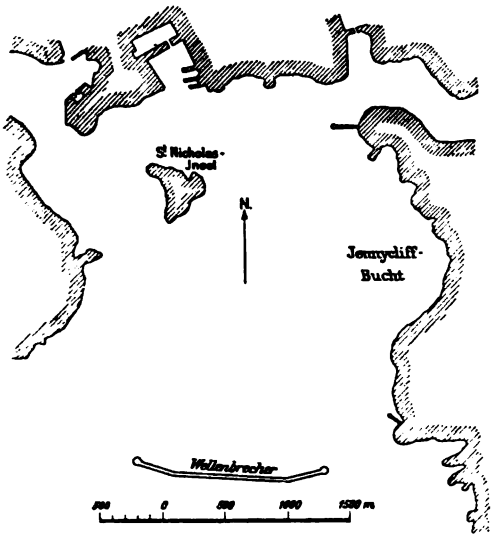


Abb. 171. Hafen von Plymouth, Schutz durch einen Wellenbrecher.

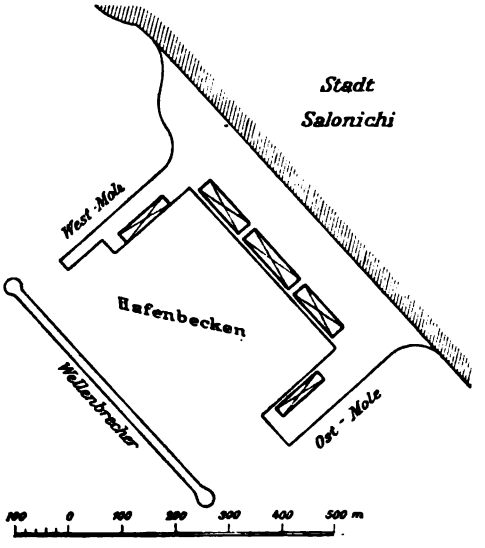


Abb. 172. Hafen von Salonichi, Schutz durch einen Wellenbrecher.

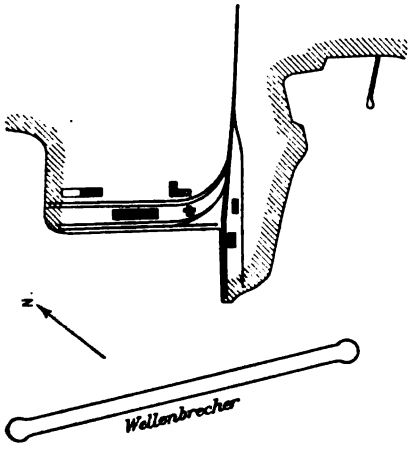


Abb. 173. Hafen von Haidar Pascha, Schutz durch einen Wellenbrecher.

als auch zur Schaffung des Schutzes an offenen Küsten vor. Ein Beispiel der ersteren Art bildet der Hafen von Plymouth (Abb. 171), als Vertreter der zweiten Art gelten die Häfen von Marseille (Abb. 47), von Triest (Abb. 49), der Handelshafen von Brest, die kleinen türkischen Häfen von Salonichi (Abb. 172) und Haidar Pascha (Abb. 173). Bei dieser Anordnung liegen die Einfahrten zwischen den Köpfen der Wellenbrecher und dem gegenüberliegenden Ufer. In den Häfen an offener Küste wird der durch den Wellenbrecher erzeugte Schutz, wie in Marseille, Triest, Brest, Salonichi und Haidar Pascha, noch

durch vom Ufer ausgehende Hafenzungen vergrößert; auf diese Weise entsteht entweder ein Hafenbecken mit zwei Zugängen wie in Salonichi oder, wenn mehrere Zungen vom Ufer aus vorgestreckt werden, eine Reihe von Becken wie in Marseille und in Triest. Wenn die Wellenbrecherenden über die äußeren Molen hinausragen, so entstehen außerdem wie in Marseille kleine Vorhäfen, die das Einlaufen in die Hafenbecken erleichtern. Wie ferner der Lageplan von Marseille zeigt, gestattet die Anordnung eines vor und parallel zum Ufer liegenden Wellenbrechers bei günstiger Küstengestaltung in einfacher Weise die Vergrößerung des Hafens. Bezüglich der Form des Wellenbrechers ist auf die bei der Besprechung der Hafeneinfahrten auf S. 252 gemachten Ausführungen zu verweisen, wonach die nach außen konkave Form oder eine geradlinige Gestalt mit aufgebogenen Enden (Triest) günstiger ist als die konvexe Anordnung (Plymouth), weil durch diese leicht schräg auftreffende Wellen nach der Einfahrt hingeworfen werden und dort kabbelige See erzeugen.

Ursprünglich gehörte auch der Hafen von Cherbourg (Abb. 9 auf S. 16) zu den Häfen mit einem Wellenbrecher, durch Hinzufügung von zwei Molen ist er aber jetzt zu der nächstfolgenden Gruppe zu rechnen. Dagegen wird die neueste Erweiterung des Hafens von Genua die in Marseille usw. bewährte Form erhalten. In Triest zeigt die gewählte Anordnung den Übelstand, daß bei der häufig vom Lande seewärts, heftig wehenden Bora die Ein- und Ausfahrt sehr erschwert und bisweilen unmöglich ist, da die Schiffe von dem Sturm breitseits getroffen werden. Dieser Nachteil hat dazu geführt, bei der Hafenerweiterung (Abb. 49 auf S. 114) die Hafeneinfahrten so zu legen, daß die Schiffe in der Richtung der Bora ein- und ausfahren können und auch im Hafen liegen, ein Umstand, der bei ähnlichen örtlichen Verhältnissen Beachtung verdient.

d. Schutz durch Anwendung von Molen und Wellenbrechern.

Handelt es sich darum, ausgedehnte Buchten gegen die Wirkung des Wellenschlages abzuschließen oder große künstliche Reeden anzulegen, so kann die gleichzeitige Anwendung von Molen und Wellenbrechern in Frage kommen.

Gegenüber der alleinigen Anwendung zweier Molen entsteht dann der Vorteil, daß zwei oder noch mehr Einfahrten gewonnen werden, mit denen es leichter ist, die an die Einfahrt zu stellenden, sich oft widersprechenden Anforderungen zu erfüllen; gegenüber der Anlage nur eines Wellenbrechers wird der Vorteil erreicht, daß die Einfahrt weiter vom Lande ab nach See zu rückt, für den Schiffer leichter zu nehmen und weniger gefahrvoll ist. Gleichzeitig läßt sich die Einfahrt auf das notwendige Maß verkleinern, so daß ein größerer Schutz sowohl gegen Seegang als auch bei Kriegshäfen gegen feindliche Angriffe durch Torpedoboote erzielt wird.

Als Beispiel für die Hinzufügung zweier Molen zu einem vor der Bucht liegenden Wellenbrecher sei hier der Kriegs- und Handelshafen von Cherbourg erwähnt, dessen Gesamtanordnung durch Abb. 9 auf S. 16 wiedergegeben ist. Außer dem ursprünglich ausgeführten, rd. 3,6 km langen Wellenbrecher wurden

im Osten und Westen zwei Molen erbaut, die die Einfahrten auf rd. 500 m beschränken.

Eine ähnliche Anordnung zeigt der durch Abb. 174 dargestellte Hafen von St. Jean de Luz an der Westküste Frankreichs, nahe der spanischen Grenze.

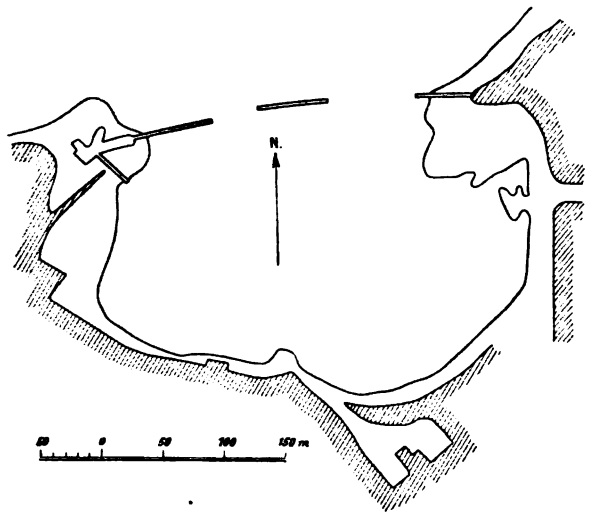


Abb. 174. Hafen von St. Jean de Luz, Schutz durch Molen und Wellenbrecher.

Bei beiden Beispielen handelte es sich darum, den durch eine natürliche Bucht gewährten Schutz zu vermehren. Im Gegensatz hierzu ist bei der Neugestaltung des Hafens von Dover (vergl. Abb. 8 auf S. 15) der für den Marinehafen erforderliche Schutz durch Verlängerung der alten Mole, Errichtung eines neuen und eines dazwischenliegenden Wellenbrechers (auf Abb. 8 Südmole genannt) erst künstlich geschaffen worden.

Die Rücksichtnahme auf besseren Schutz gegen feindliche Torpedoboote führte dazu, auf der Reede von Portland den sonst gegen Seegang ausreichenden Schutz durch einen weiteren Wellenbrecher und eine Mole zu erhöhen, so daß jetzt dieser Hafen (vergl. Abb. 175) ein Beispiel für einen durch zwei Molen und zwei Wellenbrecher gebildeten Hafen darstellt.

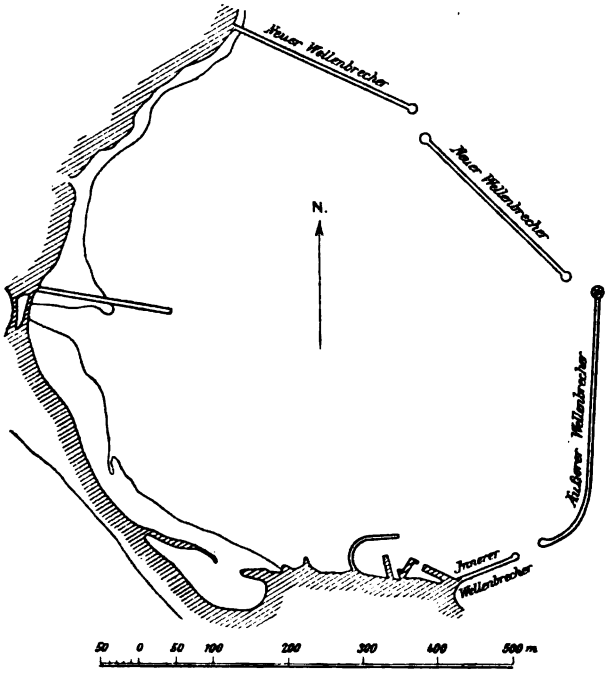


Abb. 175. Hafen von Portland, Schutz durch Molen und Wellenbrecher.

Es liegt auf der Hand, daß auf diesem Wege durch Anwendung zweier Molen und eines oder mehrerer Wellenbrecher beliebig gestaltete Flächen umschlossen werden können.

Erwähnt sei hier noch eine Anordnung, die

mehrfach dort zur Ausführung gelangt ist, wo der ursprünglich durch zwei Molen gewährte Schutz nicht genügte und darin besteht, daß vor der Einfahrt nach See zu ein gekrümmter Wellenbrecher angelegt wurde.

Als Beispiel hierfür kann der italienische Hafen von Livorno dienen (vergl. Abb. 176). Hier wurde der alte Teil des Hafens, der Porto Mediceo

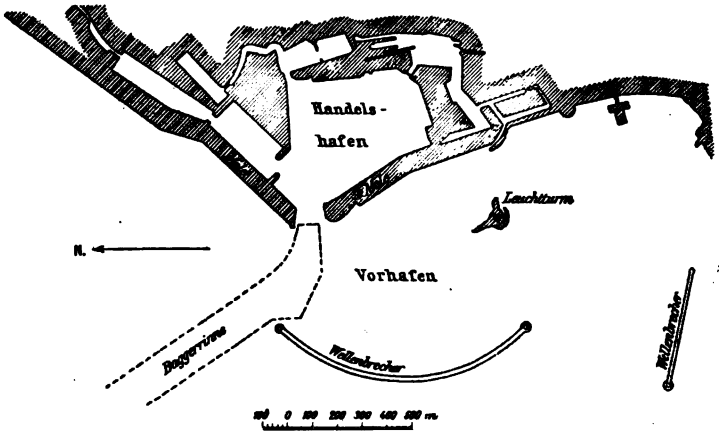


Abb. 176. Hafen von Livorno, Schutz durch Molen und Wellenbrecher.

und Darsena Mandraccie, nachträglich durch einen gekrümmten Wellenbrecher geschützt, wodurch gleichzeitig ein geräumiger Vorhafen gewonnen wurde. Da für letzteren nun wieder der Schutz nach Süden zu nicht ausreichte, so errichtete man noch einen geradlinigen Wellenbrecher, so daß eine etwas unregelmäßige Anordnung des Hafens entstanden ist.

Eine ähnliche Anordnung zeigt der an der Südküste Siziliens gelegene Hafen von Licata und der Hafen von Civita Vecchia.

III. Häfen an veränderlichen sandigen Küsten.

Während bei den Häfen an felsiger, unveränderlicher Küste die Anordnung der Hafenaußenwerke, abgesehen von der Aufsuchung günstigen Untergrundes, lediglich nach den Bedürfnissen des Schutzes und nach den Forderungen der Schiffahrt erfolgt, tritt bei den Häfen an veränderlichen, sandigen Küsten noch die Bedingung hinzu, durch geschickte Anordnung dieser Bauwerke die Versandung des Hafens zu verhindern oder wenigstens hintenanzuhalten, eine Bedingung, deren Erfüllung eine sehr schwierige Aufgabe darstellt, zu deren Lösung den wechselnden örtlichen Verhältnissen entsprechend, sehr verschiedenartige Vorschläge gemacht sind.

Allgemeines Verhalten der Sandküsten.[1]) Durch die gemeinsame, stetige Arbeit der Wellen und Strömungen des Meeres sowie der Quellen und Tagewässer des Landes werden wenig widerstandsfähige Küsten abgebrochen. Die herabgestürzten Trümmer werden durch die Wellen in steter Bewegung gehalten,

[1]) Vergl. auch H. Keller, Studien über die Gestaltung der Sandküsten und die Anlage von Seehäfen im Sandgebiet; Zeitschrift für Bauwesen 1881, S. 189 u. f.

durcheinandergeworfen und verkleinert. Aus Geröll wird nach und nach Kies, Sand und feinster Staub. Diese Vorgänge bilden die eine Quelle der Bestandteile der veränderlichen, flachen Küste. Eine zweite Quelle stellen die Flüsse in den von der Verwitterung der Gebirge stammenden, allmählich immer feiner werdenden Sinkstoffen dar, die vor und neben der Mündung zur Ablagerung gelangen.

Treffen die Wellen schräggerichtet auf das Ufer, so verlassen die bewegten Trümmer ihren Ursprungsort und werden seitlich verschoben; je kleiner sie werden, umsomehr fallen sie dem Einfluß der Strömungen anheim.

Da die Wellen beim Anlaufen an den Strand aus der schwingenden in die fortschreitende Bewegung übergehen und letztere in der Nähe des Ufers am stärksten ist, so befinden sich hier die größten Steine; nach der Tiefe zu nimmt die Korngröße schnell ab. Die feinsten im Wasser schwebenden Teilchen werden durch die Strömungen fortgeführt und in großen Tiefen, die dem Einfluß des bewegten Wassers entzogen sind, abgelagert.

Soweit der Brandungsgürtel reicht, werden die losen Bestandteile des Ufers ständig aufgewühlt, emporgehoben, durch die auflaufende Welle vorwärtsgestoßen und durch die rücklaufende hinabgezogen. Dabei bleiben die schwersten Stücke am Ufer liegen, die leichteren rollen mit zurück, nur der Schlick erhält sich schwebend. Bei schräggerichteten Wellen vollzieht sich die Vorbewegung in der Richtung der Wellen, die Rückwärtsbewegung in Richtung des größten Gefälles und infolgedessen beschreiben die Sandteilchen Zickzacklinien (vergl. S. 145 u. Abb. 78). In größeren Tiefen dagegen, wo keine Brandung mehr stattfindet, werden die feinen Teile des Bodens durch die Wellen noch aufgewirbelt und, solange sie schwebend sind, von der Strömung die meist selbst zu schwach ist, um sie loszulösen, mitgenommen; die Bewegung ist also eine sprungweise.

Je nach der Stärke der Angriffe von Wind, Wellen und Strömungen wird die Lagerung der beweglichen Teile des Meeresbodens an verschiedenen Küsten in bestimmter Neigung erfolgen; man unterscheidet steile Küsten, etwa in den Grenzen von 1 : 10 bis 1 : 100, und flache Küsten, in den Grenzen von 1 : 100 bis 1 : 500 und darüber hinaus. Große Wassertiefen finden sich dementsprechend in geringerer bezw. größerer Entfernung von der Uferlinie.

Es wird ferner von der Größe der Zufuhr neuer Trümmer abhängen, ob ein Gleichgewichtszustand eintritt oder ob bei zu geringer Zufuhr die Küste entblößt oder bei zu starker angeschwemmt wird.

Aus vorstehenden Ausführungen erhellt, daß an Küsten, die mit Trümmern abbrüchiger Ufer bedeckt sind, den sogenannten Sandküsten, ständige Bewegung herrscht, daß somit von einem beweglichen Küstensaum gesprochen werden kann. Es ist ferner ersichtlich, daß die Bewegung der Geschiebe in der Richtung der herrschenden Winde und regelmäßigen Strömungen stattfindet, wenn sie auch zeitweilig durch besondere Winde und zufällige Strömungen in entgegengesetztem Sinne erfolgt. Ebenso leicht ist zu erkennen, daß die Wanderung der Geschiebe bei Stürmen am stärksten ist, da dann der Grund am heftigsten aufgewühlt und außerdem durch die

an der Küste durch den Sturm zusammengedrängten Wassermassen eine bedeutende Verstärkung der regelmäßigen Küstenströmung erzeugt wird.

Zu beachten ist bei der Betrachtung der Beweglichkeit eines Küstensaumes, daß die Hauptrolle dabei die Wellen und ihre Richtung, also auch die Winde spielen, daß die an der Küste vorhandene Strömung unterstützend mitwirkt, da sie in den meisten Fällen zu schwach ist, selbst den Grund an zugreifen, nur im Ebbe- und Flutgebiet erreichen die Tideströmungen bisweilen solche Größe, daß sie allein schon den Meeresgrund angreifen und verändern. Es hängen ferner große Umgestaltungen der Ufer und die plötzliche Bewegung großer Massen mit dem durch Stürme hervorgerufenen heftigen Seegange zusammen, während in ruhigeren Zeiten ein Ausgleich und eine Verteilung solcher Veränderungen vor sich geht.

Für die Breite der beweglichen Küstensäume sind die örtlichen Wind- und Strömungsverhältnisse maßgebend. Gotthilf Hagen vertritt die Anschauung, daß der durch die rücklaufenden Wellen seewärts geführte Sand nicht über diejenige Grenze hinaustritt, wo die Wellen ihn wieder in Bewegung setzen und ihn daher auch möglicherweise wieder nach dem Ufer zurückführen können, daß sich also eine bestimmte Grenze für die Sandablagerungen nach der Tiefe zu ausbildet, über die hinaus nur die feinsten, im Wasser schwebend erhaltenen Sinkstoffe gelangen und nie wieder zurückkehren.

In gewisser Übereinstimmung befindet sich hiermit die in neuerer Zeit durch den italienischen Ingenieur Cornaglia vertretene Ansicht von dem Vorhandensein einer „neutralen Linie" vor jeder Küste, auf deren landwärtiger Seite die beweglichen Teilchen nach dem Ufer zu und von deren seewärtiger Seite sie in die großen Tiefen gezogen werden. Cornaglia stützt seine Ansicht auf folgender Überlegung. Die Wellen üben auf den Untergrund eine wechselnde Wirkung aus, indem unter dem Wellenberg ihre Bewegung landwärts und unter dem Wellental seewärts gerichtet ist; gleichzeitig hat die auflaufende Welle das Bestreben, der zurücklaufenden vorauszueilen. Da nun die zum Untergrunde parallele Seitenkraft des Gewichts der Sandteilchen der Kraft der auflaufenden Welle entgegengesetzt gerichtet ist, so muß es an jeder Küste eine Linie geben, an der die Kraft der auflaufenden Welle abzüglich der Seitenkraft des Eigengewichts der Sandteilchen gleich der Kraft der rücklaufenden Wellen ist, auf der also die Sandteilchen weder land- noch seewärts bewegt werden.

Die Lage dieser „neutralen Linie" ist nicht unveränderlich, sie rückt mit der Zunahme der Wellenbewegung seewärts und ist vom Ufer um so entfernter, je flacher die Neigung des Strandes ist. Sie bildet die Grenze des beweglichen Küstensaumes. Cornaglia schätzt die Lage der neutralen Linie für das Mittelländische Meer in etwa 10 m Tiefe. Auf die aus dieser Anschauung gezogenen Folgerungen wird weiter unten noch zurückgekommen werden.

An denjenigen Stellen innerhalb des beweglichen Küstensaumes, wo die in rücklaufender Bewegung befindlichen Wellen mit den nächstfolgenden in aufsteigender Richtung sich bewegenden zusammentreffen, findet infolge des Zusammenstoßes eine Verminderung der lebendigen Kraft und eine Ablagerung

von Sand mit steilerer Böschung statt, wodurch die sogenannten „Riffe" entstehen, die die Küste in mehreren Reihen umgeben. Ihre Lage ändert sich mit dem Steigen und Fallen des Wasserspiegels, so daß besonders an diesen Stellen große Sandmengen ständig in Bewegung geraten.

Mit wenigen Worten sei noch die Rolle der Strömungen bei der Wanderung der Geschiebe behandelt. Ihre verschiedenartige Entstehung und Bedeutung ist bereits auf S. 180 u. f. untersucht worden. In den meisten Fällen sind die durch Wärme- und Dichtigkeitsunterschiede entstandenen Strömungen nicht stark genug, um Sandteilchen vom Meeresboden loszureißen und fortzubewegen; ihre Wirkung ist im wesentlichen eine mitwirkende, die erst in Erscheinung tritt, wenn die Wellen den Grund aufrühren. Anderseits ist ihre Stetigkeit von erheblichem Einfluß auf die Bewegungsrichtung der Sandkörner.

Bedeutend stärker ist der Einfluß der durch Wind hervorgerufenen Strömungen, da ihre Stärke mit der Heftigkeit des Windes wächst, wie gleichzeitig auch die Wellenbewegung.

Ihre Richtung ist ferner von der des Windes abhängig und wechselt daher (vergl. S. 185 und Abb. 111). Da ihnen aber die Wanderung der Geschiebe folgt, so ändert auch diese ihre Richtung mit dem Winde. Maßgebend für die endgültige Bewegung der Sandmassen wird daher die vorherrschende Richtung des durch Winde hervorgerufenen Küstenstromes sein, wie sie z. B. nach den Ausführungen auf S. 187 und nach Abb. 112 ermittelt werden kann. So herrschen z. B. an der pommerschen Ostseeküste westliche Winde vor, unter deren Einfluß der Sand der Küste nach Osten wandert, wenn er auch zeitweise durch östliche Winde um geringere Strecken nach Westen zurückgeschoben wird.

Die Wirkung der durch den Wind hervorgerufenen Küstenströmungen ist unregelmäßig in bezug auf Richtung, Wirkungstiefe und Stärke.

Ähnlich ist es mit den durch Ebbe und Flut hervorgerufenen Tideströmungen (vergl. S. 182). Bei ihnen tritt bei jeder Tide ein vollkommener Richtungswechsel aus der einen in die entgegengesetzte ein, dem die Wandersände in gleicher Weise unterliegen. Für die endgültige Bewegung der Geschiebe wird diejenige der beiden Strömungsrichtungen maßgebend sein, die mit der Richtung der herrschenden Winde zusammenfällt, z. B. an der deutschen Nordseeküste mit vorherrschend westlichen Winden die Flutströmung.

Im allgemeinen überwiegen in den großen Tiefen die Tideströmungen, dagegen nimmt an den flachen Küsten die Wirkung des Windes an Stärke zu unter gleichzeitiger Abnahme der Tideströmungen.

Da die Tideströmungen besonders da, wo sie durch Inseln, Ufervorsprünge u. dergl. zusammengedrängt werden, bedeutende Geschwindigkeiten annehmen, so sind sie auch allein imstande, auf Sandablagerungen angreifende Wirkungen auszuüben.

Verhalten der wandernden Sande gegenüber künstlichen Einbauten. Entgegen den Hafenaußenwerken an felsigen Küsten üben die Molen und Leitdämme an Sandküsten auf die Küstengestaltung einen wesentlichen Einfluß aus, der für die Zugänglichkeit und Offenhaltung der Häfen von schwerwiegender Bedeutung ist.

Die Wirkung der künstlichen Einbauten hat viel Verwandtes mit den Buhnen der Flüsse; besonders gilt dies für die zum Schutz des Strandes angelegten Strand- und Seebuhnen. Während jedoch bei diesen eine möglichst vollkommene Verlandung und das Vorschieben der Uferlinie das erstrebte Ziel bildet, ist bei den Hafenaußenwerken das Vorschieben des Ufers und die Bildung von Sandablagerungen in und vor den Hafeneinfahrten durchaus unerwünscht.

Zur Küste senkrecht gerichtete Einbauten. Betrachtet man zunächst die an einem senkrechten Einbau eintretenden Erscheinungen (Abb. 177), so ist zunächst ersichtlich, daß durch ihn die Bewegung der Wandersände aufgehalten wird. Ferner wird im Bereich des Einbaues der Küstenstrom verzögert und abgelenkt. Infolgedessen findet eine Anhäufung von Sandmassen auf der den herrschenden Winden und dem Küstenstrom zugekehrten Seite in dem Zwickel bei *a* statt. Gleichzeitig wird anfänglich die Zufuhr neuen Sandes an der Küste rechts von *e* unterbunden, so daß die Küste hier angegriffen wird. Die Anhäufung an der Luvseite der Mole nimmt allmählich zu und schreitet nach dem Kopfe vor. Hierbei wird die Ablagerung steiler geneigt, als es dem vorhandenen, einem Gleichgewichtszustand entsprechenden Strande entspricht, so daß die Sandteilchen leicht von den Wellen losgerissen und von der Strömung fortgeführt werden. Sie wandern dann zum Teil um den Kopf *c* herum und lagern sich im Schutze desselben auf der Leeseite bei *d* und in dem Winkel bei *b* ab. Es entsteht dadurch auf der Leeseite eine wenn auch geringere Ablagerung und eine Zufuhr von Sand, die häufig die Abnagung bei *e* und rechts davon wieder ausgleicht.

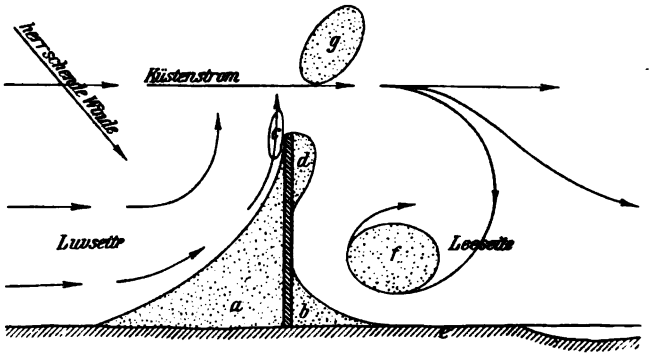


Abb. 177. Schematische Darstellung der Wirkung zur Küste senkrecht gerichteter Einbauten.

Ein anderer Teil wird besonders, wenn bei heftigen Winden die Wassermassen stark in den Winkel zwischen Mole und Ufer gedrängt werden und an dem Werk entlang eine starke rücklaufende, seewärts gerichtete Strömung entsteht, die in der Nähe des Kopfes *c* auf der Luvseite oft tiefe Kolke erzeugt, durch die Strömung mit fortgerissen und lagert sich, da die Strömung fast senkrecht auf die nicht abgelenkte Küstenströmung trifft und hierbei eine Vernichtung lebendiger Kraft stattfindet, vor dem Kopfe, eine Barre bildend, ab, die unter dem Einfluß der Strömung etwas nach rechts, etwa nach *g* verschoben wird.

Endlich finden noch andere und von der Barre losgerissene Teilchen innerhalb der von dem Hauptstrom sich abzweigenden Rückströmung bei *f* eine Ruhestätte.

Alle diese Ablagerungen gehen bei heftigen Stürmen aus der Richtung der herrschenden Winde am stärksten vor sich, wobei sich der Sandvorrat in dem Winkel bei *a* bisweilen stark verringert. Bei ruhigerem Wetter ergänzt er sich, da dann die Umwanderung des Kopfes geringer ist oder ganz aufhört.

Die beschriebenen Erscheinungen kehren ihre Bewegungsrichtung naturgemäß um, wenn der Wind von der rechten Seite wirkt.

Unabhängig von der Windrichtung bleibt aber die Tatsache bestehen, daß die Winkel bei *a* und *b* sich mit Sand ausfüllen, auf der Seite der herrschenden Winde stärker als auf der anderen, und daß sich an der Stelle des Werkes allmählich der ganze Strand vorschiebt und auch die Tiefenlinien vor dem Werke nach See zu vorrücken. An den Tiefenplänen ist der Einfluß eines Werkes auf die Ablenkung der Tiefenlinien oft bis zur mehrfachen Länge des Werkes zu erkennen.

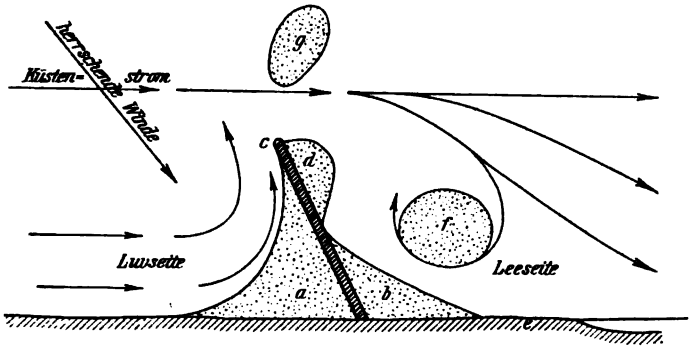


Abb. 178. Schematische Darstellung der Wirkung gegen die herrschenden Winde und den Küstenstrom geneigter Einbauten.

Von der Länge des Werkes wird es abhängen, wie lange es dauert, bis es völlig einsandet und der Strand an dieser Stelle um ebensoviel vorrückt. Auch ein Vortreiben des Werkes über die Grenze des beweglichen Küstensaumes oder über die Cornagliasche neutrale Linie hinaus kann ebensowenig dauernden Nutzen gegen die Nachteile der wandernden Sände schaffen wie die stückweise Verlängerung des Werkes; durch solche Maßnahmen kann nur der Zeitpunkt des Vorrückens der Küste bis an den Kopf des Werkes hinausgeschoben werden.

Gegen die herrschenden Winde und den Küstenstrom geneigte Einbauten. Aus dem Flußbau ist bekannt, daß die sandfangende Wirkung stromauf gerichteter (inklinanter) Buhnen am günstigsten ist. Hieraus kann man den Rückschluß ziehen, daß auch an der See bei Einbauten, die gegen die Küstenströmung gerichtet sind, die Sandablagerung stärker als bei senkrecht gerichteten sein wird. Ein Blick auf Abb. 178 und ein Vergleich mit Abb. 177 und den in vorigem Absatz beschriebenen Vorgängen läßt leicht erkennen, daß in dem vorliegenden Falle die beschriebenen Sandablagerungen in noch erheblich stärkerem Maße auftreten werden. Besonders aufmerksam gemacht sei noch auf das hier noch ungünstigere Zusammentreffen des abgelenkten mit dem freien Küstenstrom, wodurch die Ablagerungen vor dem Kopfe noch mehr gefördert werden; hierbei wirkt die geringere Stärke des an der Mole sich ausbildenden Rückstroms unterstützend mit. Alle diese Erscheinungen sind deutlich auf dem Peilplan von Swinemünde (Abb. 208) zu erkennen.

Mit der Küstenströmung geneigt gerichtete Einbauten. Es ist nach der vorstehenden Entwicklung leicht einzusehen, daß ein mit der Richtung der herrschenden Winde und des Küstenstroms gerichteter Einbau die geschilderten Sandablagerungen in geringerem Maße hervorruft. Besonders ist dies der Fall, wenn die Richtungsänderung allmählich stattfindet, d. h. die Mole leicht nach außen, konvex, gekrümmt ist und ihre Richtung nach dem Kopfe zu allmählich in eine zur Küste parallele Lage übergeht (Abb. 179).

Die in dem Winkel bei *a* sich ablagernden Sinkstoffe werden bei heftigen Winden und Stürmen aus der Richtung der herrschenden Winde aufgewühlt und durch den in diesem Falle sich längs des Werkes sehr stark ausbildenden Rückstrom und den abgelenkten Küstenstrom fortgeführt. Da letzterer allmählich in die Richtung des freien Stromes übergeht, wird nur wenig Geschwindigkeit bei dem Zusammentreffen beider Strömungen eingebüßt, infolge-

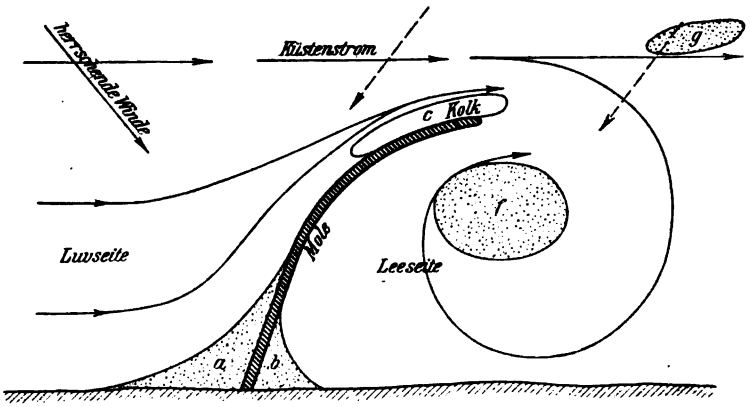


Abb. 179. Schematische Darstellung der Wirkung mit der Küstenströmung und den herrschenden Winden gerichteter Einbauten.

dessen werden die Sandmassen durch die vereinigten Strömungen weiter fortgeführt werden und nicht in der Nähe des Molenkopfes wie in Abb. 177 u. 178 bei *g* zur Ablagerung gelangen. Gleichzeitig tritt eine Verminderung der in dem Winkel bei *a* abgelagerten Massen ein und dadurch ein weniger schnelles Vorrücken des Strandes.

Aber auch bei dieser Anordnung einer Mole ist nicht zu verhindern, daß durch eine in die geschützte Wasserfläche führende, von dem Hauptstrom sich abzweigende Wirbelströmung Sandmassen auf die hohle Seite der Mole gelangen und sich etwa bei *b* ablagern. Ebenso werden dahin durch die Wellen Sandteilchen bei heftigen Stürmen getrieben werden, wenn sie quer gegen den mit Sand beladenen Küstenstrom angehen. Anderseits wird ein beispielsweise aus der durch gestrichelte Linien angedeuteten Richtung kommender Sturm auf die Ablagerung an der Außenseite der Mole zurücktreibend wirken.

Leicht zu erkennen ist, daß die durch Abb. 179 dargestellte Molenform bei einem von rechts kommenden Wind und Küstenstrom sehr sandfangend wirkt, da sie dann die im vorigen Abschnitte geschilderte ungünstige, gegen den Strom und die Wellen gerichtete Lage hat. Tritt an einer Küste ein öfterer Wechsel der Stromrichtung, wie es im Flut- und Ebbegebiet die Regel

ist und in den Gegenden mit periodisch wechselnden Winden ebenfalls vorkommt so wird man für beide Richtungen eine günstige Wirkung auf die Verringerung der Sandablagerungen ausüben, wenn man zwei konvexe Molen anordnet, die demnach zueinander konvergent gerichtet sind. Der Sand wird dann am ehesten an der Hafeneinfahrt vorbeigetrieben. Das Eintreiben von Sand in die Einfahrt wird natürlich auch dadurch nicht ganz vermieden, es entsteht aber der Vorteil, daß die in der geschützten Bucht entstandenen Ablagerungen durch Baggerungen in großem Maßstabe leichter als in der offenen See entfernt werden können.

Aber auch bei der geschilderten Molenanordnung muß man sich darüber klar bleiben, daß ein allmähliches Vorrücken des Strandes an der Stelle der Bauwerke auf die Dauer nicht zu verhindern ist, daß es nur wesentlich verlangsamt wird.

Dies wird umsoweniger früh fühlbar werden, je weiter man die Molenköpfe von vornherein in große Tiefen hinausführt und je günstiger die Gestaltung des Seeuntergrundes vor dem Hafen ist. Wenn z. B. vor dem Hafen ein starker Strom eine große Tiefe unterhält, wird die Ablagerung der von den Molen fortgeführten Sinkstoffe zum Teil verhindert, zum anderen Teil aber wird lange Zeit vergehen, ehe die entstehende Verflachung schädlich wirkt.

Einen geringen Erfolg können auch sandfangende Bauten (Buhnen) an der Küste vor dem Hafen verheißen; doch hört die Wirkung derartiger Bauten mit dem Maße ihrer Verlandung auf, auch ist sie gegenüber den großen in Betracht kommenden Massen nur von geringer Bedeutung.

Küsten mit Gerölle. Das Verhalten der Küsten mit Gerölle ist im allgemeinen dem der Sandküsten ähnlich. Die Gerölle bewegen sich aus den am Anfang des Kapitels ausgeführten Gründen am oberen Rande des Strandes, sie kommen meist in geringerer Menge als die Sandmassen vor. Einbauten gegenüber verhalten sie sich jedoch ebenso wie die wandernden Sande, sie füllen die Zwickel aus und wandern allmählich bis zum Kopfe vor und um denselben herum; desgleichen bewirken sie mit der Zeit ein Vorrücken des ganzen Küstensaumes. Ungünstiger stellen sie sich gegenüber den Wirkungen der Strömungen insofern, als sie weniger leicht von diesen fortgeführt werden.

Es läßt sich leicht die Überzeugung gewinnen, daß auch den Geröllwanderungen gegenüber sich eine nach See zu konvexe Form der Einbauten am günstigsten verhalten wird. Hinzu kommt hier noch bei den für die Sandküsten angeführten Umständen, daß die Wellen bei den herrschenden Winden die in dem Zwickel abgelagerten Kiesel durch- und gegeneinanderwerfen, so daß sie sich gegenseitig abnutzen, verkleinern und von der Strömung leichter fortgeführt werden.

Infolge des Umstandes, daß die gröberen Geschiebe sich in der Nähe des Strandes bewegen und in geringerer Masse vorkommen, versprechen hier Maßnahmen zum Auffangen oder zur Beseitigung des Gerölles, ehe es den Hafen erreicht, wie Buhnen, Baggerungen, leichter Erfolg.

Schlußfolgerungen für die Anordnung der Hafenaußenwerke an veränderlichen Küsten. Aus vorstehenden Ausführungen über das

Verhalten veränderlicher Küsten gegenüber künstlichen Einbauten lassen sich folgende Regeln zusammenfassen.

Es empfiehlt sich, die Einbauten am Ufer unter einem kleineren als einem rechten Winkel zur Küste beginnen zu lassen, sie nach außen konvex zu krümmen und allmählich in eine zur Küste fast parallele Lage überzuführen. Vorsprünge an der Außenseite sind zu vermeiden, um die Strömung längs der Werke nicht zu schwächen.

Es ist notwendig, die Bauten von vornherein in größere Tiefe zu führen, als für die Hafeneinfahrt erforderlich ist, da mit einem Vorschieben des Strandes gerechnet werden muß, am besten bis dahin, wo auch starker Seegang keine Einwirkung mehr auf den Boden hat. Die Einfahrt muß so weit bemessen und so gerichtet werden, daß die heftigsten Stürme von dem Hafen zwar ferngehalten werden, aber doch in der Einfahrt noch so viel Bewegung bleibt, daß die Ablagerung von Sand in derselben verhindert wird. Würde die Einfahrt den heftigsten Stürmen zugekehrt werden, wie bei den Häfen an felsigen Küsten zulässig und erwünscht ist, so würden die dann besonders mit Sand geschwängerten Wellen große Sandmassen in den Hafen treiben.

Auf die Zuhilfenahme von Baggerungen in der Einfahrt und im Hafen ist immer zu rechnen, durch die Form der Bauwerke allein können sie nie ganz vermieden werden.

Der Erfolg wird von der Größe der Sandbewegung abhängen; je geringer sie ist, um so langsamer wird der ganze Strand vorrücken und die Tiefe vor dem Hafen abnehmen. Ferner stellen sich die Verhältnisse dort günstiger, wo die Richtung der Strömung wechselt, also im Flut- und Ebbegebiet, weil dann abwechselnd Verlandung und Abbröckelung auf jeder Seite stattfindet. Bei sehr starker Sandbewegung wird auf einen dauernden Erfolg nicht zu rechnen sein.

A. Häfen an der freien Küste.

Bei den Anordnungen der Hafenaußenwerke bei Häfen an veränderlichen Küsten können zwei Hauptgruppen unterschieden werden, je nachdem sie an der freien Küste zur Bildung einer großen Reede oder eines Vorhafens oder vor der Mündung eines Flusses oder eines Haffes, einer Lagune usw. errichtet werden sollen. Im ersteren Falle hat man sich mit den Verhältnissen an der Küste allein abzufinden, im letzteren kommen noch die Einflüsse des Binnenwassers oder des in das Haff oder die Lagune ein- und ausgehenden Wassers hinzu.

Bei den Häfen an der offenen Küste handelt es sich darum, das Fehlen des natürlichen Schutzes durch Schaffung einer geschützten Wasserfläche zu ersetzen oder den Zugang zu einem Seekanal zu sichern.

Zur Erfüllung dieser Aufgabe sind in den meisten Fällen zwei vom Ufer ausgehende Molen, seltener eine, verwandt worden; in neuerer Zeit sind auch Ausführungen aus einer mit dem Ufer durch einen durchbrochenen Teil in Verbindung stehenden Mole vorgekommen.

a) Häfen mit zwei schräg aufeinander zu laufenden (konvergenten) Molen. Bei den Molenhäfen ergibt die zu lösende Aufgabe,

eine Wasserfläche zu umschließen, schon die Notwendigkeit, die Molen vom Ufer ausgehend schräg zueinander (konvergent) zu richten oder ihre Enden umzubiegen, denn parallele Molen können nie eine Reede mit ausreichendem Schutz bilden.

Als lehrreiches Beispiel eines Hafens an offener Sandküste aus schräg zusammenlaufenden Molen ist Ymuiden zu betrachten.[1]) Er wurde in den Jahren 1865 bis 1878 an der nordholländischen Küste, etwa in der Mitte zwischen dem Hoek van Holland und dem Helder (vergl. Abb 58 auf S. 125), zum Schutze des gleichzeitig erbauten Seekanals nach Amsterdam erbaut. Der Strand hat in dieser Gegend 150 m Breite, die Tiefenlinie von 8 m unter dem gewöhnlichen Niedrigwasser befindet sich in 1500 bis 2000 m Entfernung vom Fuß der Düne und die 15 m-Linie in 5000 bis 6000 m, der Strand ist daher in seinem oberen Teile unter 1 : 200 und in dem tieferen unter 1 : 400 geneigt. Die mittlere Flutgröße liegt zwischen den Werten 1,55 und 1,16 m am Hoek van Holland bezw. am Helder. An der Küste herrschen dieser gleichlaufende Tideströmungen, von denen der nördlich gerichtete Flutstrom im Mittel 0,75 m/Sek. und der südlich laufende Ebbestrom 0,55 m/Sek. Höchstgeschwindigkeit erreicht. Die Küste liegt ganz offen, Stürme aus SW und W treten am häufigsten und aus NW am heftigsten auf. Die Sandbewegung ist mäßig, zum Teil befindet sich die Küste im Zurückweichen und muß gegen die Angriffe der See geschützt werden.

Vorstehende Verhältnisse sind als günstig für die Anlage eines Hafens an offener Sandküste zu erachten; sie führten, da sie nach den oben entwickelten Gesichtspunkten richtig ausgenutzt wurden, zu einer erfolgreichen Lösung der Aufgabe.

Wie Abb. 181 zeigt, besteht der Vorhafen aus zwei hochwasserfreien Molen, die an ihrer Wurzel 1200 m voneinander entfernt sind, schräg gerichtet vom Ufer ausgehen und sich an den Molenköpfen bis auf 260 m einander nähern. Sie umschließen eine Fläche von 220 ha. Im Hintergrunde des Beckens mündet der durch zwei kurze parallele Dämme eingefaßte Seekanal. Für die in der Mitte des Vorhafens herzustellende, tiefere Fahrrinne wurde eine Tiefe von 7,70 m unter gewöhnlichem Niedrigwasser (— 8,5 m A. P.) festgesetzt; sie sollte elliptische Gestalt erhalten und bis zu 650 m Breite ausgedehnt werden. Tatsächlich ist die Fahrrinne im Hafen in dieser Breite nie hergestellt worden, man hat sich mit der Hälfte begnügt. dafür ist man aber bald, dem Wachsen der Schiffsgrößen folgend, mit der Vergrößerung der Tiefe bis auf 9,7 m unter gewöhnlichem Niedrigwasser (— 10,5 m A. P.) vorgegangen, so daß heute in der Einfahrt vor und zwischen den Molenköpfen eine um 2 m größere als ursprünglich geplante Tiefe zu unterhalten ist. Das Vorgehen widerspricht der oben entwickelten Regel, wonach die Molenköpfe von vornherein über die Tiefe hinaus vorgeschoben werden sollen, die man im Hafen zu erhalten beabsichtigt. Ein Blick auf Abb. 181 zeigt, daß die Molenköpfe heute etwa um 500 m hinter der Tiefe zurückliegen, die in der Einfahrt herrschen soll.

Die Folge einer solchen Überspannung der Anforderungen an den

[1]) H. Wortmann, Bericht zum XI. Internationalen Schiffahrtskongreß in St. Petersburg 1908.

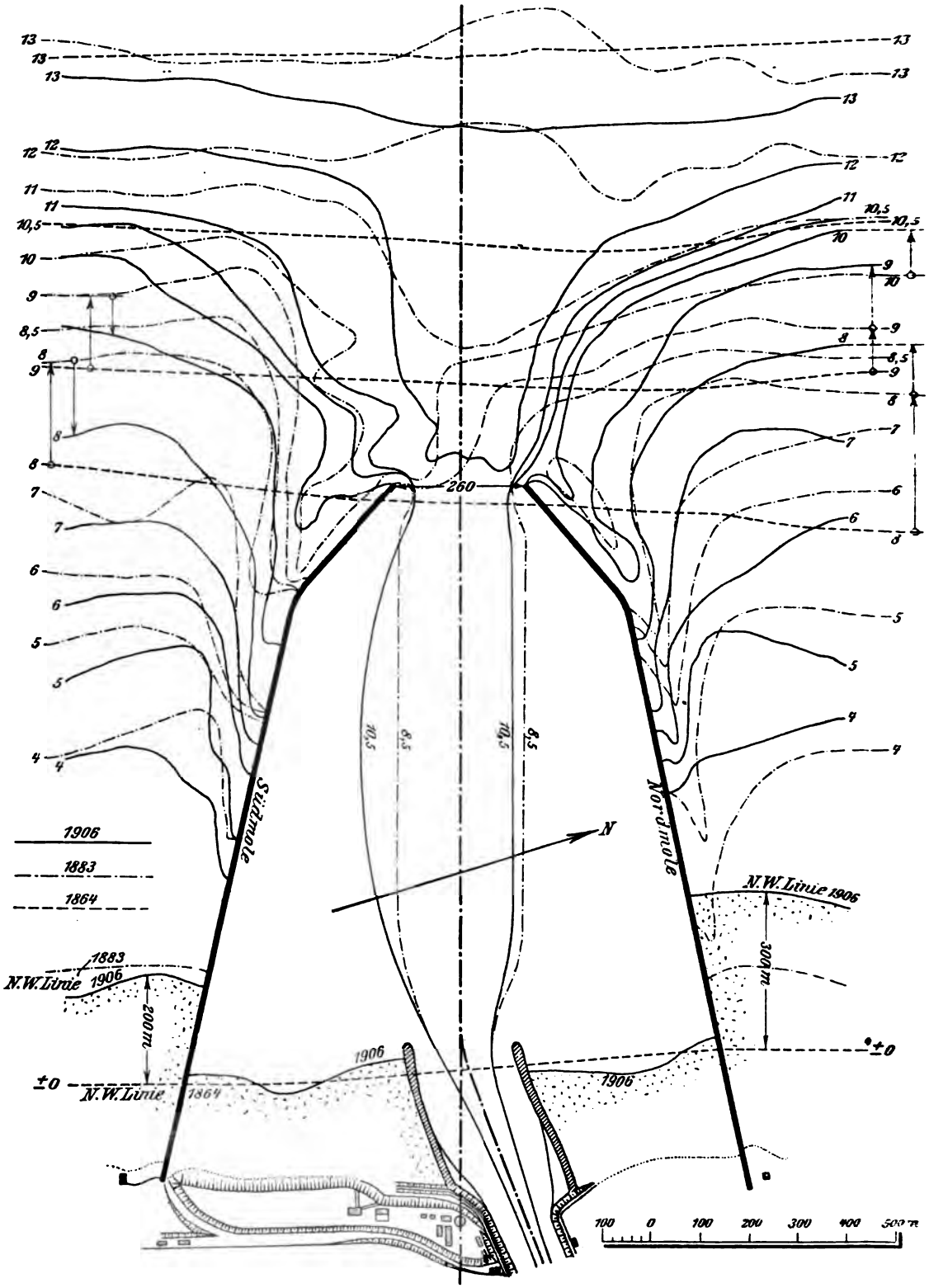


Abb. 180. Hafen von Ymuiden mit Peilungen vom Jahre 1864, 1883 und 1906, Beispiel eines Hafens an freier Sandküste aus zwei schräg aufeinander zulaufenden Molen.

ursprünglich ausgeführten Plan hat naturgemäß umfangreiche, regelmäßige Baggerungen veranlaßt, die im Jahre 1906 die Höhe von 205 000 cbm außerhalb der Molen und von 746 000 cbm in der Fahrrinne des Vorhafens erreicht haben. Zur Ausführung der Baggerungen werden drei große Saugbagger mit Laderaum und drei Eimerkettenbagger mit neun Dampfklappprähmen dauernd in Betrieb erhalten.

Diese Arbeiten würden zum größten Teil entbehrlich sein, wenn man bei der ursprünglich geplanten Tiefe geblieben wäre, sie müssen daher bei der Beurteilung des Erfolges der Molenanlagen außer Betracht bleiben.

Aus den auf Abb. 180 wiedergegebenen Tiefenlinien aus den Jahren 1864, 1883 und 1906 lassen sich die Folgen der Errichtung der Molen, wenn man von den durch die Baggerungen vor den Molenköpfen hervorgerufenen Unregelmäßigkeiten absieht, leicht erkennen. Die Niedrigwasserlinie ist in den Winkeln zwischen Mole und Ufer rd. 200 bezw. 300 m vorgerückt, das Gleiche läßt sich auch bei anderen Tiefenlinien verfolgen; besonders deutlich tritt dies bei der 8, 9 und 10 m-Linie auf der Nordseite hervor, wie die eingezeichneten Pfeile zeigen; das Vorrücken hat bis zur letzten Peilung angehalten. Auf der Südseite dagegen zeigen die 8 und 9 m-Linie bis 1883 ein kräftiges Vorgehen, von da an aber bis zum Jahre 1906 wieder ein Zurückweichen. Über die 10 m-Linie hinaus ist ein wesentlicher Einfluß noch nicht zu bemerken, dagegen hat sich die 13 m-Linie sogar der Küste genähert.

Ebenso sind auf der Südseite seit 1883 die 6, 5, 4 m- und Niedrigwasserlinie der Küste nähergerückt. Aus diesen Erscheinungen wird gefolgert, daß das anfängliche Vorrücken des Strandes seit 1883 nicht mehr zugenommen hat und eine Gefahr für die Versandung des Hafens nicht besteht. Wenn diese Hoffnung sich bewahrheitet, ist der Molenhafen von Ymuiden geradezu ein Schulbeispiel für Häfen an Sandküsten.

Zum Schlusse sei noch auf die durch die Molenbauten hervorgerufenen Tideströmungen hingewiesen. Der Flutstrom stößt gegen die Südmole, wird abgelenkt und läuft längs der Mole mit allmählich bis auf 1,20 m/Sek. zunehmender Geschwindigkeit; er kreuzt dann in der Richtung des letzten Molenendes die Hafeneinfahrt und nimmt erst weiterhin die alte Richtung wieder auf. Eine ähnliche Ablenkung erfährt der schwächere Ebbestrom.

Diese Erscheinungen dürften zum Teil die stärkere Sandablagerung auf der Nordseite erklären. Das Zurücktreten der Tiefenkurven an den Molen zeigt deutlich die oben geschilderte (Abb. 177 bis 179) Wirkung der abgelenkten Tideströmungen.

Von dem Flutstrom zweigt sich ein Arm in das Hafenbecken in der Nähe des nördlichen Molenkopfes ab, läuft an der Innenseite der Nordmole entlang und breitet sich im südlichen Teil des Vorhafens aus. Von dieser Ablenkung stammen die bedeutenden Versandungen in der Hafeneinfahrt und eines Teiles des Beckens in der Nähe des Nordmolenkopfes, die besonders heftig bei Stürmen aus SW bis NW auftreten. Es gibt dort Stellen, wo die jährliche Versandung 3 bis 5 m Mächtigkeit erreicht.

Unter ähnlichen Verhältnissen und nach den gleichen Gesichtspunkten ist an der holländischen Küste der kleine Fischereihafen von Scheveningen

errichtet worden (siehe S. 52). Wie Abb. 27 zeigt, sind die den Vorhafen bildenden Molen schräg gegen das Ufer gerichtet und an ihren Enden gegeneinander gekrümmt. Sie sind in etwas größere Tiefe vorgeschoben, als für den Hafen festgesetzt worden war. Soweit bekannt geworden ist, haben sich bisher die Tiefen gut gehalten; der durch die Stürme in den Hafen eintreibende Sand konnte bisher durch einen Saugbagger leicht entfernt werden.

Als weiteres gutes Beispiel für schräg aufeinander zulaufende Molen sind die den neuen Vorhafen von Le Havre bildenden Bauwerke zu erwähnen (Abb. 46 auf S. 107).

Zahlreiche Erfahrungen über Molenhäfen an Sandküsten liegen auch an der italienischen Küste vor. Dort sind die Molen in den meisten Fällen an der Wurzel senkrecht zum Ufer gerichtet und erst später gekrümmt. Die an einzelnen Stellen eingetretenen Mißerfolge werden darauf zurückgeführt, daß die Molen von vornherein nicht in ausreichende Tiefe (über die Cornagliasche neutrale Linie) vorgeschoben wurden.

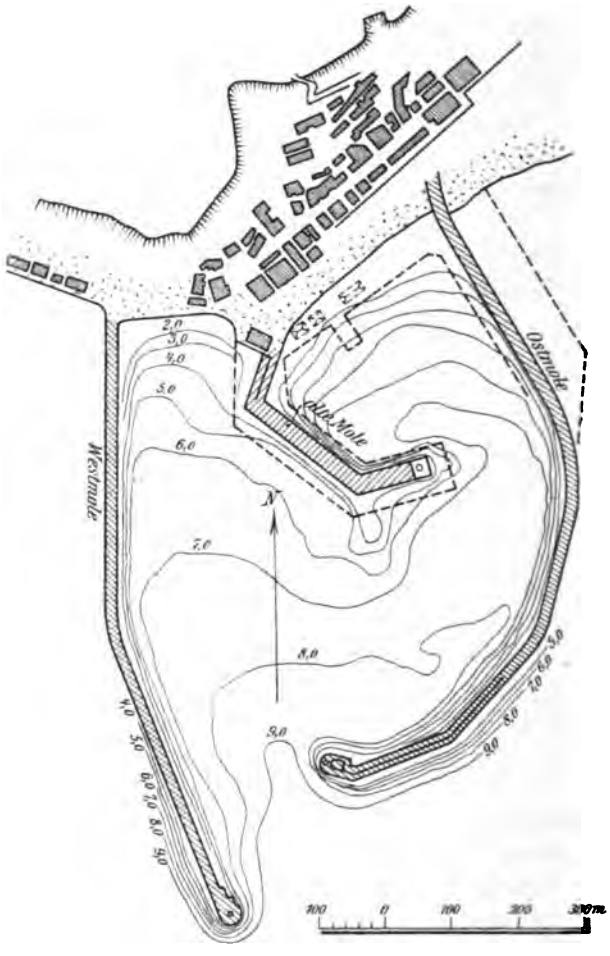


Abb. 181. Hafen von Empedocle, Süd-Sizilien, Beispiel eines Molenhafens an freier Sandküste.

Ein voller Erfolg ist dagegen mit dem Hafen von Empedocle an der Südküste von Sizilien (Abb. 181) erreicht worden. Dort wurden beide Molen über die den dortigen Verhältnissen entsprechende Lage der neutralen Linie hinaus bis zur 9 m-Tiefenlinie vorgestreckt. Das Ziel, eine Versandung des Hafens zu verhindern, ist damit vollkommen erreicht worden; seit der im Jahre 1885 erfolgten Vollendung der Bauten sind nennenswerte Baggerungen nicht erforderlich gewesen. Zu bemerken ist noch, daß die Hafeneinfahrt von der Richtung der aus SW kommenden heftigsten Stürme etwas abgewendet liegt und durch Verlängerung der Westmole geschützt ist.

Zum Schlusse dieser Beispielreihe sei an dem Hafen von Madras eine weniger geglückte Hafenanlage vorgeführt, die zeigt, wie auch bei sonst richtiger Anordnung der Molen der Erfolg durch eine übergroße Sandwanderung vereitelt werden kann.

Die Ostküste von Vorderindien zeigt bei Madras einen völlig platten, von Süd nach Nord gerichteten Verlauf; die gleiche Richtung hat der viel Sand führende Küstenstrom.

Zur Herstellung einer geschützten Reede wurde der durch Abb. 182 dargestellte, aus zwei senkrecht vom Ufer ausgehenden Molen gebildete Hafen in den Jahren 1875 bis 1881 errichtet. Die Entfernung der Molen beträgt an der Wurzel rd. 850 m; nach einem geradlinigen Verlauf von ungefähr gleicher Länge biegen sie gegeneinander um und lassen zwischen ihren Köpfen eine 165 m weite Einfahrt frei, deren Tiefe anfänglich 14,6 m betrug.

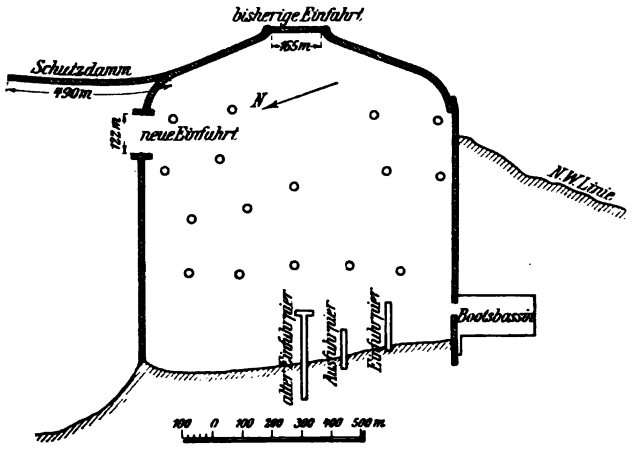


Abb. 182. Hafen von Madras, Beispiel eines Molenhafens an freier Sandküste.

Trotz dieser großen Tiefe rückte der Strand auf der Südseite schnell vor, und es gelangten bald durch die stets zur Küste parallel gerichteten Wellen große Sandmassen in den Hafen.

Da ferner sich das Hafenbecken gegenüber den durch die Einfahrt eindringenden Wellen als zu klein erwies, wurde im Jahre 1902 beschlossen, die bisherige Einfahrt zu schließen und durch eine nach Norden gerichtete zu ersetzen, die gegen Seegang durch einen 490 m langen Schutzdamm geschützt werden soll. Man will auf diese Weise das Eindringen der Wellen und des Sandes in den von den Molen umschlossenen Raum verhüten. Nicht zu verkennen ist jedoch, daß bei der neugewählten Anordnung die Einfahrt für die Schiffe recht unbequem liegt und daß sich auf der Binnenseite des Schutzdammes beträchtliche Sandmassen ablagern werden. Man hofft diese Ablagerungen jedoch durch Baggerungen beseitigen zu können.

b) Häfen aus zwei konvergenten Molen und parallel zur Küste gerichteten Wellenbrechern. Liegt die Notwendigkeit vor, an einer offenen Sandküste ein größeres Becken herzustellen, als es durch zwei aufeinander zulaufende Molen geschehen kann, ohne sie in übergroße Tiefen verlängern zu müssen, so kann dies geschehen, indem man die Molen auseinanderrückt und einen oder mehrere parallel zur Küste gerichtete Wellenbrecher dazwischen anordnet. In bezug auf die Sandverhältnisse der betreffenden Küste wird dadurch nichts geändert; die gleichen günstigen Verhältnisse sind auch

in diesem Falle zu erwarten, wenn bei der Anlage sonst den Verhältnissen an Sandküsten Rechnung getragen wird.

Als ein geeignetes Beispiel für den vorliegenden Fall ist der russische Handels- und Kriegshafen Libau an der Ostsee zu betrachten. Die Küste streicht an dem Hafenort fast genau von Süd nach Nord und besteht aus einem flachgeneigten Strande. Die am häufigsten und heftigsten wehenden Winde kommen aus SW und verursachen, da sie die Küste schräg treffen, eine lebhafte Sandbewegung von Süd nach Nord.

Zur Bildung einer geräumigen, 756 ha großen Reede wurden zwei geneigt gegen das Ufer gerichtete Molen, die Nord- und die Südmole, angelegt und zwischen deren Köpfen zwei Wellenbrecher, ein nördlicher und ein südlicher, angeordnet (Abb. 183). Die Reede erhält auf diese Weise drei Einfahrten und ist infolgedessen jederzeit bequem zugänglich. Die nördliche und mittlere von 267 bezw. 213 m Weite mit 7,9 bezw. 9,1 m Tiefe sind für die Zufahrt zu dem auf dem Lande angelegten Kriegshafen bestimmt, während die südliche von 142 m Weite und 8,5 bis 9,1 m Tiefe dem Verkehr der Handelsschiffe dient. Die Anlagen für den Handelshafen bestehen aus drei Teilen, einem durch zwei Molen und einen Wellenbrecher von der großen Reede abgetrennten Teil, einem südlich davon liegenden Becken und einem langen, von der Wurzel der Südmole nach dem Libauschen See führenden Kanal. Durch die mittlere Einfahrt führt eine 9,12 m tief gebaggerte Rinne geradeswegs in den inneren Kriegshafen.

Auch vor dem Handelshafen und an anderen Stellen ist durch Baggerung die erforderliche Tiefe hergestellt worden.

Betrachtet man nun die durch die Anlage des Hafens entstandenen Veränderungen an der Küste, so lassen die aus den Jahren 1886 und 1904 stammenden Tiefenlinien erkennen, daß in dem Winkel an der Südmole der Strand bedeutend vorgerückt ist, weniger stark ist das gleiche an der Nordmole der Fall. Aber auch vor den Wellenbrechern und in dem Hafen haben Sandablagerungen stattgefunden, in letzterem allerdings in geringerem Maße. Diese Erscheinungen machen umfangreiche, regelmäßige Baggerungen erforderlich, wenn der Hafen offengehalten werden soll. Es läßt sich der Gedanke nicht von der Hand weisen und wird auch durch die eingehenden Untersuchungen der Ingenieure Ivanina und Aeckerle[1]) bestätigt, daß der für die Anlage des Hafens gewählte Platz dazu wenig geeignet ist, da die Neigung des Strandes außerordentlich flach ist; so befindet sich etwa 2,5 km seewärts von der mittleren Einfahrt, wo die Baggerrinne endet, noch eine Tiefe von 9,10 m.

Man erkennt hieraus, daß die sonst richtige Form der Molen allein nicht genügt, um an Küsten mit starker Sandbewegung einen Hafen offenzuhalten; es müssen noch ständige Baggerungen hinzukommen. Für die Offenhaltung des Libauer Hafens werden diese auf rd. 500 000 cbm jährlich geschätzt.

In ähnlicher Weise war ursprünglich der durch Abb. 10 auf S. 16 dargestellte Hafen von Boulogne geplant worden. Es sollte in der Verlängerung

[1]) Ivanina und Aeckerle, Bericht zum XI. Internationalen Schiffahrtskongreß in t. Petersburg 1908.

des Endes der zuerst ausgeführten und jetzt allein bestehenden Südmole (Mole Carnot) noch ein zur Küste paralleler Wellenbrecher und eine Nordmole her-

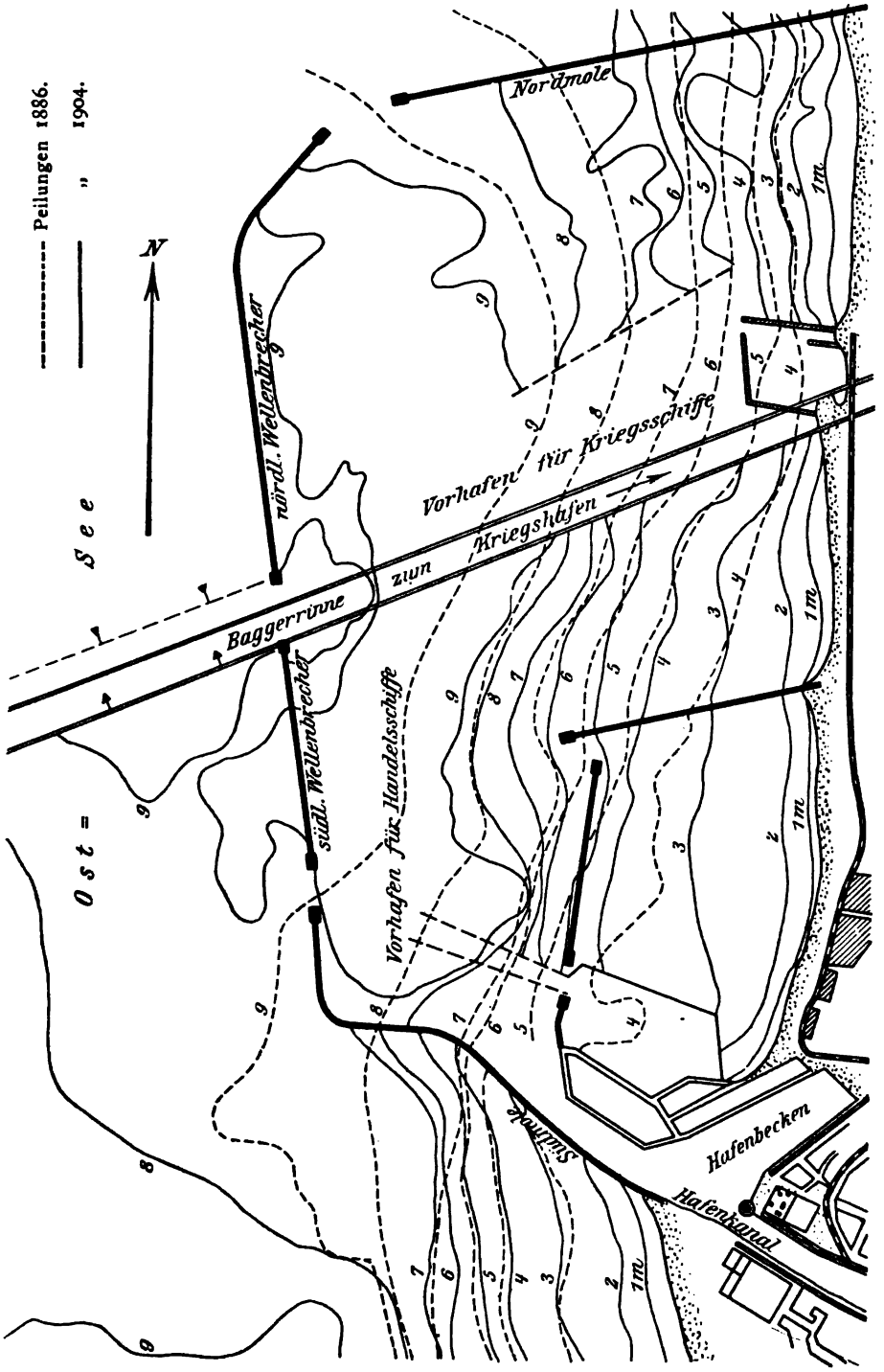


Abb. 184. Hafen von Libau, Beispiel eines Hafens an freier Sandküste aus Molen und Wellenbrechern.

gestellt werden; beide zeigten sich aber bei den schon durch die Südmole allein entstandenen günstigen Verhältnissen entbehrlich.

c) Häfen aus einer schräg gegen das Ufer gerichteten Mole. Infolgedessen kann der Hafen von Boulogne als ein gelungenes Beispiel der Häfen an Sandküsten mit einer Mole betrachtet werden. Es sind zwar seit der Errichtung des Baues die üblichen Folgen eingetreten, der Strand ist an der Südseite erheblich vorgerückt, und ebenso sind Sandmassen um den Kopf herum in die Reede getrieben. Doch ist in dem Vorrücken des Strandes allmählich ein Gleichgewichtszustand eingetreten, auch hat sich die Tiefe auf der Reede durch Baggerungen leicht erhalten lassen.

Zu diesem günstigen Erfolge haben die natürlichen Verhältnisse in erster Linie beigetragen. Wie Abb. 10 auf S. 16 lehrt, ist die Mole bis an den Rand großer Tiefen vorgeschoben worden, ferner liegen vor dem Hafen seewärts keine Sandbänke mehr, so daß der Seegang ungeschwächt an die Mole herankommt, und endlich geht an der Küste ein starker, von Süd nach Nord gerichteter Flutstrom, der die durch die Wellen aufgewirbelten Sandmassen fortführt.

Die Anordnung nur einer Mole kann nur unter ähnlichen Verhältnissen wie in Boulogne zu guten Erfolgen führen; sowie infolge wechselnder Windrichtung die Bewegung der Geschiebe auch zeitweise von der entgegengesetzten Seite stattfindet, wird der von der Mole geschützte Raum schnell versanden, da sie dann als inklinante Buhne wirkt.

Bei solchen Verhältnissen ist die Anordnung zweier konvergenter Molen empfehlenswerter, da dann die Sinkstoffe je nach der Windrichtung zum größten Teil an der Hafeneinfahrt vorbeigeführt werden.

Auf einen Umstand, der bei der Anlage einer Mole Beachtung verdient, sei noch kurz hingewiesen. Wenn es gelingt, wenigstens auf einige Zeit durch das Bauwerk die Sandbewegung aufzuhalten, so fehlt für die jenseit der Mole liegende Strecke die zur Erhaltung des Gleichgewichts erforderliche Sandzufuhr; infolgedessen wird an diesen Stellen, da sie dem Wellenschlage unverändert ausgesetzt sind und die dort lagernden Massen fortbewegt werden, ein Uferabbruch eintreten, wie schon auf S. 268 erwähnt wurde, so daß besondere Schutzmaßnahmen erforderlich werden.

Derartige Beobachtungen sind z. B. an dem kleinen Hafen von Villa San Giovanni bei Reggio in Kalabrien und bei dem neuen Hafen von Salerno gemacht worden[1]) und haben dort zu kostspieligen Schutzbauten geführt. Der Übelstand wird sich erst dann verringern, wenn die Mole so weit eingesandet ist, daß die Wandersände um sie herumgelangen und dem abbrüchigen Ufer neue Stoffe zuführen.

Bei der Anordnung zweier schräg gegeneinander gerichteter Molen wird dieser Nachteil auch bei einseitig gerichtetem Küstenstrom viel weniger leicht eintreten, da es den Sandmassen leichter gelingen wird, besonders bei heftigen Stürmen, um die Molen herum auf die andere Seite des Hafens zu

[1]) D. Lo Gatto, Bericht zum XI. Internationalen Schiffahrtskongreß in St. Petersburg 1908.

gelangen; also auch in dieser Hinsicht sind sie bei der Anlage von Häfen an Sandküsten vorzuziehen.

Es läßt sich aus den vorstehenden Beispielen und Erörterungen der Schluß ziehen, daß für Häfen an offenen Sandküsten in erster Linie die Anordnung von zwei schräg zueinander gerichteten Molen in Betracht kommt und daß damit auch, wenn es die natürlichen Verhältnisse überhaupt gestatten, ein Erfolg erzielt werden wird, der aber durch die Anordnung und Gestalt der Molen nie allein, sondern erst durch die Hinzufügung von regelmäßigen Baggerungen zu einem vollkommenen ausgestaltet werden kann.

Besondere Beachtung bezüglich der Formung des Seendes der Molen verdienen die von Engels in Dresden angestellten Versuche,[1]) nach denen eine Krümmung bis zu einer mit der Küste parallelen Lage die geringsten Sandablagerungen vor und in der Einfahrt ergibt.

Zum Schlusse dieses Abschnittes seien hier die Beschlüsse angeführt, die der XI. Internationale Schiffahrtskongreß über die Frage „Häfen an sandigen Küsten" unter Nummer 4, 5 und 6 gefaßt hat.

4. Die Molen, parallele oder schräg zueinander stehende, müssen, um wirksam zu sein, bis zu Tiefen geführt werden, in denen die Wirkung der Wellen auf dem Meeresboden nicht mehr auftritt.

5. Die schräg laufenden Molen müssen eine starke Neigung zum Ufer haben, so daß sie für den Vorüberzug der von der Strömung mitgeführten Geschiebemassen kein Hindernis bilden.

6. In dem Falle, wo die Küstenströmung sehr stark ist, ist es zweckmäßig, zu Wellenbrechern zu greifen, die parallel zur Küste laufen, oder einen Hafen in der offenen See anzulegen, der mit dem Lande mittels durchbrochener Molen verbunden ist. In diesem Falle müssen die Molen oder die sonstigen Bauten am Hafeneingang so weit von der Küste entfernt sein, als es die örtlichen Verhältnisse gestatten.

d) Häfen aus Wellenbrechern oder Molen in der See mit durchbrochener Verbindung mit dem Lande. Der letzte Satz weist auf eine zweite brauchbare Lösung zur Errichtung von Häfen an offenen Sandküsten hin, die dadurch gewonnen wird, daß die Hafenanlage in die See hineingeschoben wird, so daß die Sandbewegung zwischen dem Hafen und dem Ufer ungehindert bleibt. Es ist einleuchtend, daß für derartige Anordnungen ein starker Küstenstrom die Voraussetzung bildet, denn es wird nicht ausbleiben, daß sich auf der Uferstrecke, die im Schutz der Anlage liegt und von den Wellen weniger heftig getroffen wird, Ablagerungen bilden, wenn sie nicht durch einen starken Strom verhindert werden.

Für die Lösung der Aufgabe kommen vier Möglichkeiten in Betracht.

Zunächst könnte der Hafen allein durch einen parallel zur Küste außerhalb des beweglichen Küstensaumes angeordneten Wellenbrecher gebildet werden. In diesem Falle würde der Verkehr mit dem Lande nur durch Leichterfahrzeuge erfolgen können und dadurch den Handelsverkehr sehr erschweren. In zweiter Linie kämen zwei mit dem Lande durch eine offene, überbrückte Strecke

[1]) Zeitschrift für Bauwesen 1904, S. 465, Bl. 48.

verbundene Wellenbrecher in Frage, die ein geschütztes Becken umschließen Der Verkehr mit dem Lande würde dann durch die beiden Verbindungsbrücken erleichtert sein. Für beide Lösungen liegen Vorschläge, aber keine Ausführungen vor, die Kosten würden jedenfalls ganz bedeutende sein.

Eine dritte Lösung besteht darin, durch einen ringförmigen Wellenbrecher einen Hafen im tiefen Wasser außerhalb der Sandbewegung zu errichten und ihn durch eine Brücke mit dem Lande zu verbinen. Diese Anordnung führt zur Bildung der auf S. 12 erwähnten und durch Abb. 2 auf S. 11 erläuterten Inselhäfen, von denen in Dänemark und auf Bornholm einzelne Beispiele vorliegen.[1]) Diese in kleinen Abmessungen gehaltenen Bauten sind für Fischereizwecke bestimmt und haben, soweit bekannt, den gehegten Erwartungen gut entsprochen. Bei größeren Ausführungen für neuzeitliche Handelsschiffe würden sie jedoch gewaltige Kosten verursachen, so daß der Gedanke wohl kaum weiter zu verfolgen ist.

Eine letzte Lösung ist in der Weise möglich, daß eine vom Ufer ausgehende Mole zur Bildung des Hafens benutzt wird, die am Ufer auf eine längere Strecke durchbrochen hergestellt wird. Bei dieser Anordnung können die Schiffe an dem entsprechend ausgebildeten, geschlossenen Teil der Mole geschützt löschen und laden, der Zugang wird durch das Außenende der Mole und das Ufer gebildet; der Verkehr mit dem Lande ist über dem durchbrochenen Teil möglich, und die Sandbewegung kann am Ufer entlang vor sich gehen.

Für diese Lösung liegen zur Zeit drei Ausführungen vor. Von diesen ist diejenige in der Rosslarebai an der Ostküste von Irland, südlich von Wexford wohl gelungen. Der durch Abb. 185 dargestellte Hafen besteht aus einer fast rechtwinklig gekrümmten Mole mit einem der Küste nahezu parallelen, 475 m langen geschlossenen Stück, auf dessen Innenseite die Schiffe geschützt liegen, und einer 270 m langen, eisernen Verbindungsbrücke zur Heranführung der Eisenbahngleise an die Schiffe. Abgesehen von einer kleinen Sandablagerung an der Wurzel der Verbindungsbrücke, ist der Zweck der Anlage erreicht worden, wie aus dem Vergleich der Tiefenlinien aus dem Jahre 1881 und 1907

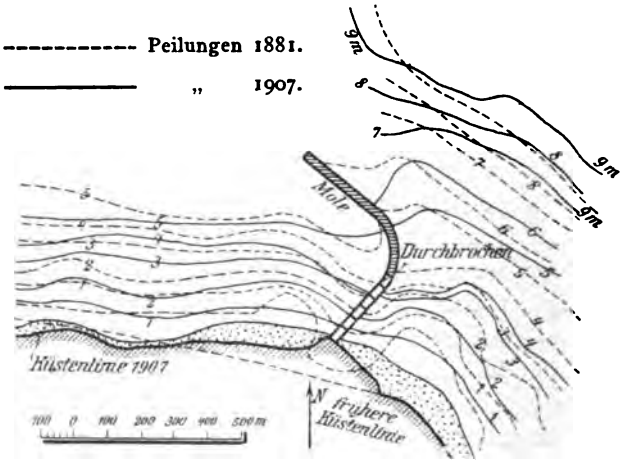


Abb. 184. Hafen in der Roßlarebai, Beispiel eines Hafens an freier Sandküste aus einer Mole mit durchbrochener Verbindung mit dem Ufer.

[1]) Zentralblatt der Bauverwaltung 1893, S. 317 u. 329.

hervorgeht. Die Schiffe finden gegen Stürme aus O und SO den erforderlichen Schutz, während anderseits die von SO kommende Sandbewegung an der Küste entlang nicht behindert wird.

Im Gegensatz zu diesem Beispiel ist der ähnlich angeordnete Hafen von Céara an der Nordostküste von Brasilien bald nach seiner Erbauung völlig versandet. Die Länge des geschlossenen Teiles der Mole beträgt hier 518 m und die des durchbrochenen 228 m. Die Richtung des geschlossenen Teiles ist hier nicht parallel, sondern etwas geneigt zur Küste. Wie Abb. 185 zeigt, ist durch die westlich gerichtete Küstenströmung eine solche Sandablagerung im Schutzbereich des Bauwerks hervorgerufen worden, daß der Hafen unbenutzbar geworden ist. Vermutlich trägt die schräge Lage des geschlossenen Molenteils, abgesehen von der sonst ungünstigen Lage des Ortes, daran die Schuld.

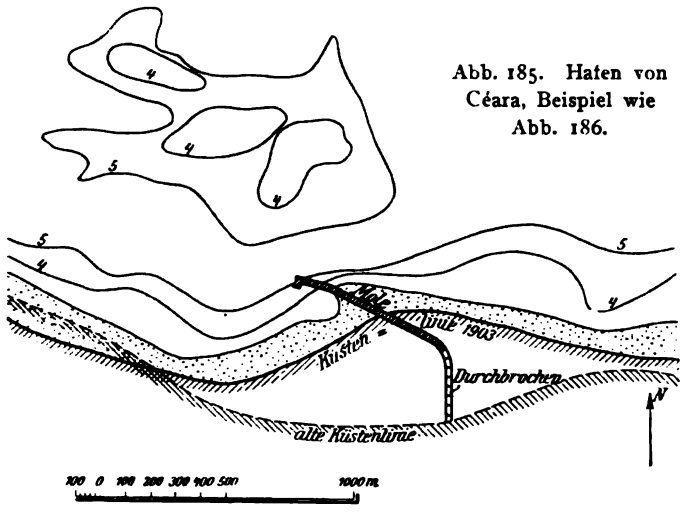


Abb. 185. Hafen von Céara, Beispiel wie Abb. 186.

Als größtes Beispiel einer solchen Hafenanordnung ist der an der Mündung des Seekanals nach Brügge bei Zeebrügge (Heyst) angelegte Anlaufhafen (vergl. Abb. 11 auf S. 17 und Abb. 40 auf S. 98) und die dort gemachten Ausführungen.[1]) Auch hier wird beabsichtigt, durch die gekrümmt angelegte, mit ihrem Ende zur Küste fast parallele Mole, die am Ufer auf 300 m Länge durchbrochen ist, den Tideströmungen und der Sandbewegung ungehinderten Durchgang durch den Hafen zu gestatten, während die Mole einerseits die Einfahrt in den Seekanal schützt und gleichzeitig großen Überseedampfern Lösch- und Ladegelegenheit bietet. Zu diesem Zweck ist der geschlossene Teil der Mole auf 74 m verbreitert, mit Schuppen versehen und mit dem Lande durch Gleise verbunden.

Über die tatsächlich eingetretenen Strömungsverhältnisse gibt Abb. 187 Aufschluß.

Danach teilt sich sowohl der Flut- als auch der Ebbestrom vor der Mole und durchströmt den Hafen.[2]) Es hat sich herausgestellt, daß ein breiterer Streifen des Flutstromes, als der 300 m weiten Öffnung entspricht, in den Hafen

[1]) Siehe auch Zentralblatt der Bauverwaltung 1881, S. 36; 1894, S. 64; 1897, S. 12; 1898, S. 382; 1899, S. 241; 1907, S. 618.

[2]) O. Franzius, Strömungsverhältnisse an der Mole von Zeebrügge, Zentralblatt der Bauverwaltung 1908, S. 232, ebendaher Abb. 186.

eintritt und daß die Teilung dieses Stromes etwa bei *c* erfolgt. Dadurch wird der durch den Hafen gehende Strom vorteilhaft verstärkt und der an der Mole entlanggehende, tiefe Kolke verursachende Strom geschwächt. Ähnlich ist die Wirkung der Mole auf den Ebbestrom, da sie bei ihrer Lage einen breiten Streifen desselben einfängt und durch den Hafen zu gehen zwingt. Wie Abb. 186 ferner erkennen läßt, hat sich im Schutze der Mole ein wechselnder Rundstrom ausgebildet, in dessen Innerem Sandablagerungen stattfinden.

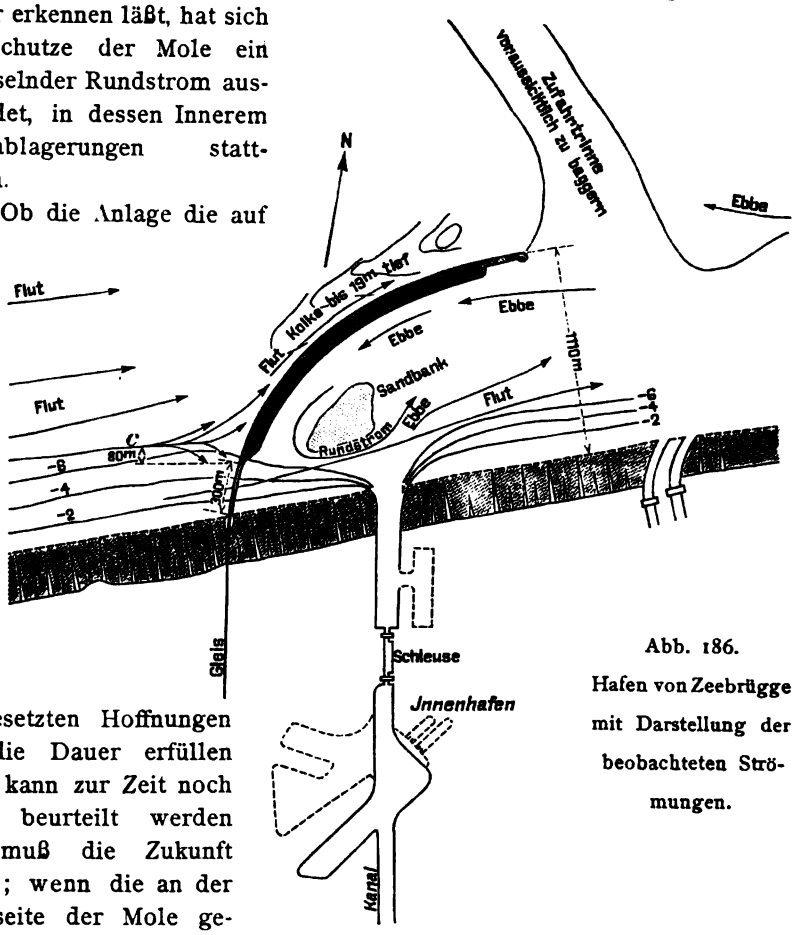


Abb. 186. Hafen von Zeebrügge mit Darstellung der beobachteten Strömungen.

Ob die Anlage die auf sie gesetzten Hoffnungen auf die Dauer erfüllen wird, kann zur Zeit noch nicht beurteilt werden und muß die Zukunft lehren; wenn die an der Innenseite der Mole geplanten großen Tiefen von 11,5 m unter Niedrigwasserspringflut dauernd erhalten bleiben sollen, werden umfangreiche Baggerungen nicht zu vermeiden sein. Ebenso wird die Einfahrt zu dem Seekanal Versandungen ausgesetzt sein. Nach den drei geschilderten Beispielen über die Anlage von Häfen an Sandküsten aus gekrümmten Molen mit einem durchbrochenen Teil am Ufer und einem geschlossenen nach See zu ist es noch nicht möglich, ein endgültiges Urteil über diese Anordnung von Hafenaußenwerken zu fällen.

B. Häfen an der Mündung von Flüssen, von Haffen, Seen oder Lagunen und von Entwässerungskanälen.

Bei dieser Gruppe von Häfen kommen zwei weitere Umstände zu den bisher besprochenen hinzu, einmal die Unterbrechung des Strandes durch den Hafen und zweitens der Einfluß des Binnenwassers. Die Verhältnisse für die Anordnung

der Hafenaußenwerke sind in diesen Fällen bedeutend verwickelter, da das Zusammenwirken dieser Erscheinungen mit dem beweglichen Küstensaum zu beachten ist.

Mit wenigen Worten lassen sich zunächst die Aufgaben der Hafenaußenwerke in diesem Falle kennzeichnen.

Die an der Küste entlang wandernden Geschiebe dringen in die Unterbrechung des Strandes ein und streben danach, sie auszufüllen. Hiergegen kämpfen die aus dem Binnenlande kommenden Wassermengen dauernd oder zeitweise an; außerdem bringen sie häufig noch Sinkstoffe hinzu, die sich mit den Ablagerungen der Wandersände vereinigen. Infolge der in beiden Fällen durch Stürme und Hochwasser eintretenden Unregelmäßigkeiten werden ständige Veränderungen der Lage der Mündung und ihrer Tiefe eintreten. Diesen sollen die Hafenaußenwerke entgegentreten, sie sollen die Hafenmündung scharf begrenzen und festlegen und sowohl den Küstenstrom von ihr ableiten als auch das Binnenwasser zusammenfassen und auf eine bestimmte Stelle der Barre leiten; sie führen daher, wenn sie auch ihrer äußeren Gestalt und Anordnung nach der eingangs dieses Kapitels gemachten Festsetzung molenartige Bauwerke sind und oft als Molen bezeichnet werden, am zweckmäßigsten und mit Recht den Namen Leitdämme. Bei der folgenden Erörterung der verschiedenen Gruppen solcher Hafenanlagen handelt es sich daher in erster Linie um die Anordnung der Hafenleitdämme.

a) Häfen an der Mündung von Flüssen. 1. In Binnenmeeren. Bei diesen Häfen sind wiederum zwei Arten zu unterscheiden, je nachdem die Flüsse in Binnenmeere oder in Meere mit Flut und Ebbe münden. Im ersteren Falle ist durch das Binnenwasser ein ständiger Ausstrom wechselnder Größe gegeben, der nur ausnahmsweise bei auflandigen Winden und Anschwellungen der See aufgehalten und umgekehrt wird. Im letzteren Falle vereinigt sich bei Ebbe die Wirkung des Binnenwassers mit dem ausgehenden Strom, während bei Flut der ausgehende Strom regelmäßig aufgehoben und in einen eingehenden verwandelt wird.

In beiden Fällen findet ein regelmäßiger, wenn auch in dem einen Falle unterbrochener Ausstrom statt, der ein Mittel bildet, die Tiefe in der Hafeneinfahrt zu erhalten.

Betrachtet man der Reihe nach die Erscheinungen, die mit der Einmündung eines Flusses in ein Meer verbunden sind.

Ein Fluß führt in den meisten Fällen Sinkstoffe verschiedener Größe, Kies, Sand, Schlick, in seinem Laufe mit sich. Es gehört eine bestimmte Geschwindigkeit dazu, um die kleinsten Teile schwebend und die größeren am Boden rollend fortzuführen. An der Stelle, wo der Fluß in das Meer hinaustritt, verbreitert sich plötzlich der Querschnitt des Flußlaufes, die Geschwindigkeit des Wassers nimmt ab, infolgedessen schlagen sich die Sinkstoffe nieder, die groben zunächst dem Lande, die feineren weiterhin und die feinsten dort, wohin sie irgend eine Strömung führt. Bei den Ablagerungen der Geschiebe des Flusses wirkt die Vernichtung der lebendigen Kraft des Flußwassers durch den Stoß auf die ruhende Wassermasse des Meeres mit. Das Ergebnis dieser Erscheinungen ist die Bildung einer Barre vor und

neben der Mündung des Flusses. Durch immer neue Sinkstoffmassen werden die Ablagerungen vermehrt und die Barre bei Hochwasser des Flusses hinausgeschoben und erhöht. Die Erhöhung wird durch gleichzeitigen Seewind begünstigt, durch Landwind verringert. Schließlich versperrt die Barre den Abfluß des Binnenwassers, so daß ein oder mehrere Durchbrüche eintreten, vor denen sich die gleiche Erscheinung wiederholt, während gleichzeitig die Küste zu beiden Seiten der Barre vorrückt (Abb. 187). Die dann entstehende Bildung nennt man ein Delta und ist kennzeichnend für die Mündung vieler Flüsse in den Binnenmeeren, wie z. B. des Nils, des Mississippi, der Donau, der Wolga, der Weichsel, der Nogat, des Memel usw.

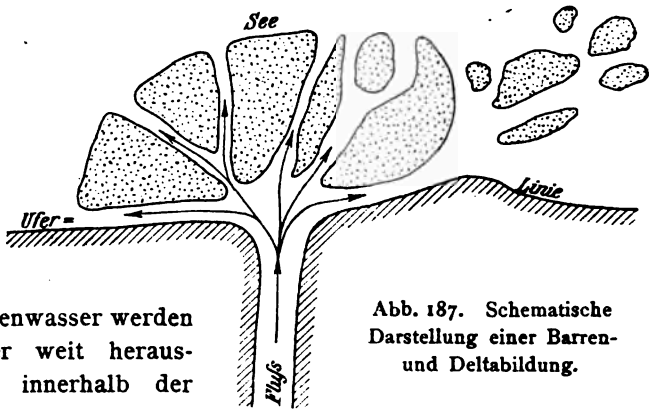


Abb. 187. Schematische Darstellung einer Barren- und Deltabildung.

Bei geringem Binnenwasser werden die Sinkstoffe weniger weit herausgeführt und bleiben innerhalb der Barre.

Natürlich ist die Bildung einer Barre nicht so einfach, wie vorstehend beschrieben, ihre Ablagerung wird weiter beeinflußt von den Wellen und von den Strömungen. Erstere greifen die Ablagerungen an, und letztere führen die gehobenen Teilchen in ihrer Richtung fort; sie bewirken nach der durch ein Hochwasser des Flusses hervorgerufenen Erhöhung wieder eine Abflachung der Barre.

Man hat ferner beobachtet, daß, wenn mehrere Stromarme eine Barre durchbrechen, derjenige Arm die größte Barre hervorruft und das Ufer am schnellsten vortreibt, der die größten Wassermengen führt, was leicht erklärlich ist, da mit der größeren Wassermenge die größere Geschwindigkeit, also auch die größere Schleppkraft zur Fortführung der Sinkstoffe zusammenhängt.

Das Ergebnis der Betrachtung dieses Falles ist mithin, daß bei stark sinkstoffführenden großen Flüssen in Meeren ohne Ebbe und Flut die Strommündung sich durch Ablagerung der Sinkstoffe vorschiebt und unter Barrenbildung sich in mehrere Arme spaltet, an deren Mündungen sich das gleiche Spiel wiederholt, so daß die Einfahrt nach einem oberhalb der Mündung eines solchen Flusses belegenen Hafens weder eine sichere Lage, noch eine sichere Tiefe besitzt.

In zweiter Linie sei ein Fall betrachtet, bei dem der Fluß nur geringe Wassermengen und keine oder nur geringe Sinkstoffmengen führt, an der Küste aber unter dem Einfluß der herrschenden Winde in einer bestimmten Richtung wandernde Geschiebe vorhanden sind. In diesem Falle werden die Küstensände in die Strommündung hineindrängen, der beiseite geschobene Strom greift das gegenüberliegende Ufer an, die losgelösten Stoffe werden durch den Küstenstrom fortgeführt, so daß schließlich eine Verschiebung der

Flußmündung in der Richtung des Küstenstroms eintritt, die sich oft kilometerweit fortpflanzt (Abb. 188). Derartige Mündungsverlegungen sind an der hinterpommerschen Küste bei der Leba,[1]) der Dievenow, an der früheren Weichsel-

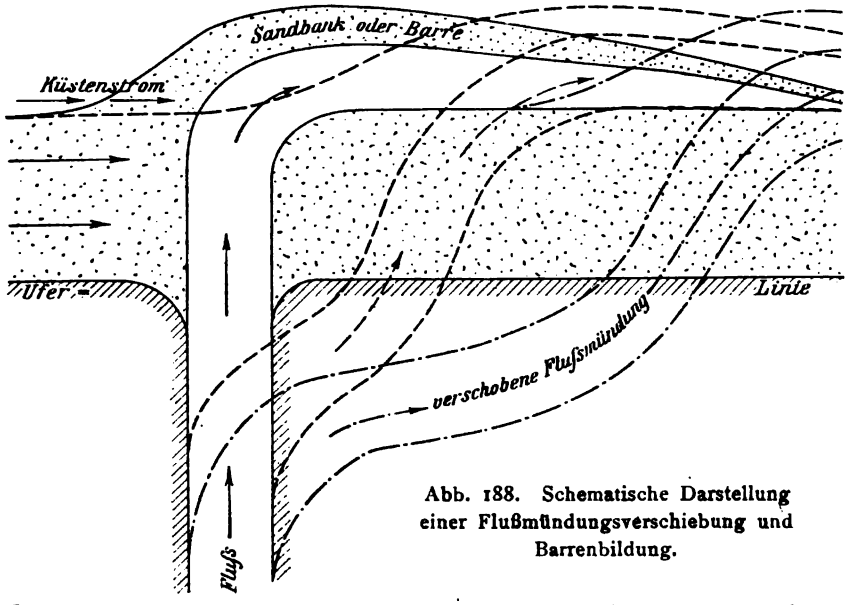


Abb. 188. Schematische Darstellung einer Flußmündungsverschiebung und Barrenbildung.

mündung usw. vor sich gegangen, bis durch eine Zurücklegung und Befestigung der Mündung ein bleibender Zustand geschaffen wurde.

Endlich sei noch der Fall erörtert, bei dem der Fluß sowohl kräftige Spülkraft besitzt und auch in ein Meer mit kräftigen Strömungen mündet, aber nur schlickhaltige Sinkstoffe führt, die leicht in große Tiefen geführt werden. Die Veränderung der Flußmündung wird auch hier wieder durch die unter dem Einfluß des Küstenstroms wandernden Sände bedingt, die in die Flußmündung einzudringen suchen. Im Bereich der Strommündung stoßen die Wassermassen des Küstenstroms mit denen des Flusses zusammen. Infolge der dadurch eintretenden Strömungsverzögerung schlagen sich die Sandstoffe nieder und bilden eine Barre, die, wie Abb. 190 zeigt, an das windseitige Ufer anschließt und sich im Bogen vor die Flußmündung legt. Die Strömung des

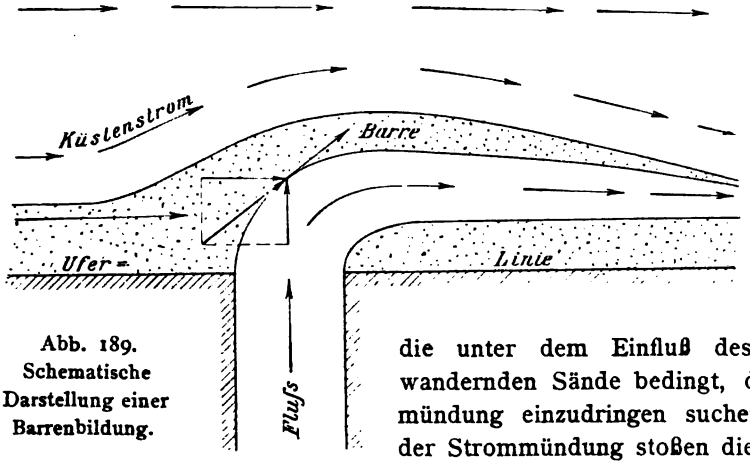


Abb. 189. Schematische Darstellung einer Barrenbildung.

[1]) Festlegung der Lebamündung, Zeitschrift für Bauwesen 1890, S. 57, Bl. 15, 16.

Flusses wird dabei in der Richtung des Küstenstroms abgelenkt. Die Barre verlängert und vergrößert sich durch neue Zufuhren, bis sie schließlich dort, wo die Kraft der Flußströmung durch allmähliche Ausbreitung sehr gering geworden ist, an das Ufer wieder anschließt.

Auf diese Weise umwandern die Wandersände die Flußmündung.

Die so entstandene Barre erleidet naturgemäß Veränderungen unter der Wechselwirkung des Binnenwassers, der Küstenströmung und der Wellen, besonders bei heftigen Stürmen. Der Fluß wird sie mit einer oder mehreren Rinnen durchbrechen, deren Richtung nach den Verhältnissen wechselt. Die Hauptrinne bildet dann den Zugang zum Hafen. Ferner wird der Fluß bei Hochwasser die Barre angreifen und weiter in die See hinausschieben, während bei Stürmen die Barre aufgewühlt und je nach der Richtung der Wellen bald nach innen, nach rechts oder links gedrängt wird. Als Regel kann für die Veränderung derartiger Barren nach Voisin-Bey gelten, daß sie „bei hohem Oberwasser und stiller See weiter hinausgeschoben" werden, „wobei die Rinnen sich vertiefen, dagegen bei geringem Oberwasser und hoher See nach innen gedrängt" werden, „indem die Rinnen verflachen".

In Wirklichkeit werden die betrachteten Einzelfälle selten für sich allein, sondern in den meisten Fällen gleichzeitig vorkommen und bald nach der einen oder anderen Richtung hin vorherrschen und dadurch bestimmend auf die Gestaltung der Hafenmündung wirken. So wird z. B. in dem zuerst beschriebenen Falle mit sinkstoffreichem Flusse ein starker Küstenstrom, wie er im Tidegebiet auftritt, dadurch, daß er die Sinkstoffe in große Tiefen fortführt, die Barrenbildung verringern oder ganz verhüten, während im letzteren Falle durch die Sinkstoffe des Flusses die Barrenbildungen vermehrt werden.

Im ganzen läßt sich aber aus den vorstehenden Schilderungen die Aufgabe deutlich erkennen, die den Hafenaußenwerken an Flußmündungen zufällt, sie sollen diese festlegen, die wandernden Sände davon fernhalten und die Wassermasse des Flusses zusammenfassen, um ihre Kraft zur Offenhaltung der Einfahrt und Einwirkung auf die Barre auszunutzen.

Die Erfüllung dieser Aufgabe wird um so leichter sein, je geringer die Menge der Sinkstoffe des Flusses und der Wandergeschiebe der Küste ist und je kräftiger ferner der Küstenstrom und die Spülkraft des Flusses ist; das letztere ist am häufigsten in den Meeren mit Ebbe und Flut der Fall.

Aus den genannten Bedingungen ist erkennbar, daß die gestellte Aufgabe durch zwei molenartig in das Meer hinausgeführte Leitdämme einigermaßen gelöst werden kann. Zu beachten bleibt aber, daß dadurch weder auf alle Zeiten die Barrenbildung verhindert, noch das Vorrücken der Wandersände aufgehalten werden kann.

Bei der Anordnung von Leitdämmen ist die Frage der Richtung, Grundrißanordnung, Entfernung und Länge zu erörtern.

Bei der Wahl der Richtung sprechen verschiedene Umstände mit. Der zwischen den Leitdämmen befindliche Kanal wird um so kürzer, je schneller man die großen Tiefen zu erreichen sucht; das wird meist in annähernd zum Ufer senkrechter Richtung der Fall sein. Für die Schiffahrt wird die Einfahrt am leichtesten sein, wenn die Richtung mit der der heftigsten Stürme zu-

sammenfällt. Dann treten aber Nachteile dadurch ein, daß die heftigsten Wellen der Strömung des Flusses entgegenwirken, dadurch die Bildung der Barre befördern und sie der Mündung näher rücken, daß ferner der Seegang in der Einfahrt sich durch die Begegnung mit einem starken Strom erhöht und daß endlich der Seegang ungeschwächt in den Hafen eintritt. Es wird sich daher empfehlen, die Richtung von derjenigen der häufigsten und heftigsten Stürme abweichen zu lassen.

Dem Andrängen des Küstensandes gegenüber würde eine senkrechte Richtung zum Ufer unter Beachtung der im vorigen Abschnitt angeführten Umstände nicht vorteilhaft sein, sondern eher eine schräg mit der Richtung des Küstenstroms geneigte Lage; eine derartige Anordnung hat den weiteren Vorteil, daß die Spülkraft des Stromes mit der des abgelenkten Küstenstroms unter einem spitzen Winkel zusammentrifft, so daß beide sich vereinigen und die Sinkstoffe von der Hafenmündung fortführen (Abb. 190).

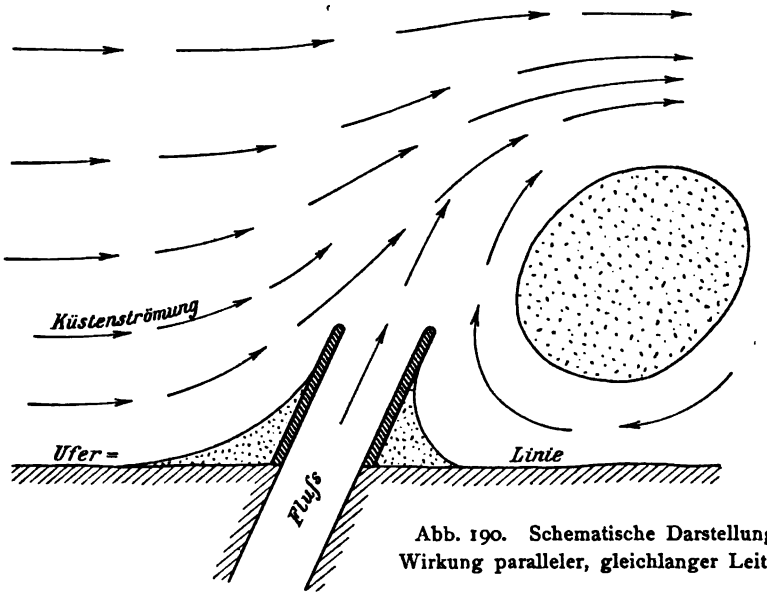


Abb. 190. Schematische Darstellung der Wirkung paralleler, gleichlanger Leitdämme.

Noch günstiger ist in dieser Beziehung eine nach außen gekrümmte (konvexe) Form der Leitdämme.

Endlich muß bei der Wahl der Richtung auch auf eine spätere Verlängerung der Leitdämme Rücksicht genommen werden, da sie als Einbauten an der Küste immer ein Vorrücken des Ufers im Gefolge haben

Geht man bezüglich der Grundrißanordnung der Leitdämme von der Absicht aus, die Strömung des Binnenwassers zusammenzuhalten, um sie möglichst geschlossen auf die Barre wirken zu lassen, so kommt man auf eine sich allmählich verengende Lage beider Dämme. Dadurch kann aber die Schiffahrt sowohl durch die entstehende hohe Wassergeschwindigkeit als auch durch die Enge der Einfahrt behindert werden, während ferner eine spätere Verlängerung der Dämme schwierig wird. Aus diesen Gründen ist in den meisten Fällen eine parallele Anordnung der Leitdämme gewählt

worden. Die umgekehrte Anordnung sich erweiternder Leitdämme kann nicht in Betracht kommen, da sie die Strömung nicht zusammenhält.

Für die Entfernung der Leitdämme wird die regelmäßige Flußbreite dicht oberhalb der Mündung maßgebend sein müssen; an Stellen, wo die Mündung sich übermäßig erweitert, wird man die Leitdämme allmählich auf die regelmäßige Breite des Stromes zusammenführen.

Besonders schwierig ist die Festsetzung der Länge der Leitdämme. In den Meeren mit Ebbe und Flut hat man sie selten über die Niedrigwasserlinie hinausgeführt, in den Binnenmeeren, z. B in der Ostsee, sind sie bis in größere Tiefen unter Mittelwasser vorgeschoben worden. Die Hauptrolle spielt dabei die Stärke des Spülstroms; wo wie im Flutgebiet durch den Ebbestrom eine kräftige Unterstützung des ausgehenden Binnenwassers stattfindet, reicht eine geringere Länge aus, wo dagegen Häfen an der Mündung unbedeutender Flüsse mit geringer Spülkraft liegen, wird durch die Hinausführung der Dämme die Herstellung und Erhaltung einer größeren Tiefe in der Einfahrt erleichtert, wenn dabei auch Baggerungen zu Hilfe genommen werden müssen. Es tritt dabei aber der Übelstand ein, daß das Ufer stärker vorrückt und daß, wenn nicht bei entsprechender Richtung der Bauwerke ein Gleichgewichtszustand eintritt oder die gewünschte Tiefe durch Baggerungen erhalten werden kann, früher oder später Verlängerungen der Leitdämme nötig werden.

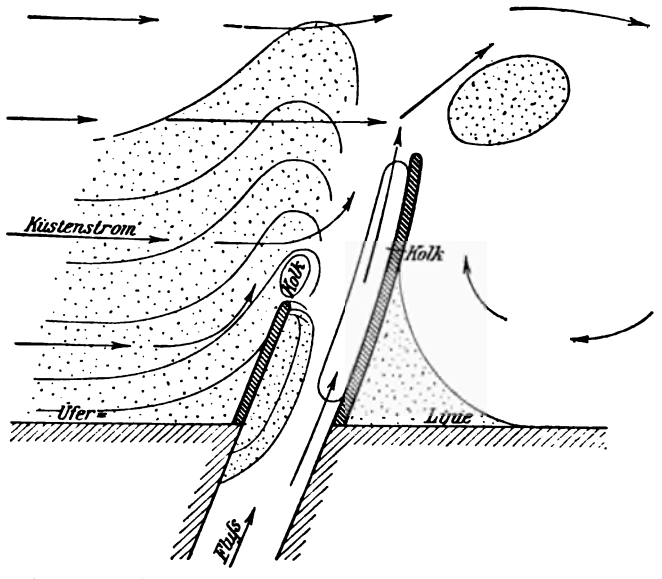


Abb. 191. Schematische Darstellung der Wirkung ungleich langer paralleler Leitdämme; der kürzere Damm auf der Luvseite.

In den meisten Fällen sind die beiden Leitdämme gleich oder nur wenig verschieden lang, um die Köpfe in die Linie der heftigsten Winde zu legen und diese vom Hafen abzuhalten. An einigen Stellen finden sich aber auch bedeutende Längenunterschiede, und zwar ist sowohl der luvseitige als auch der leeseitige der kürzere.

Betrachtet man kurz die dadurch entstehenden Verhältnisse, so werden in ersterem Falle (Abb. 191) durch den Küstenstrom die Wandersände die kurze Mole bald umwandern und auch in ihrer Verlängerung in den Hafenschlauch eindringen. Dadurch wird der ausgehende Strom gegen die leeseitige Mole zusammengedrängt und verstärkt, so daß er die Sandmassen hinaus-

tragen kann, wo sie dann unter dem Einfluß des Küstenstroms seitwärts zur Ablagerung kommen. Eine leichte Krümmung des Leitdammes wird diesen Vorgang begünstigen. Ein Nachteil dieser Anordnung ist aber, daß, da die Flüsse gewöhnlich nicht so viel Wasser führen, um die eingedrungenen Sandmassen fortzuführen, sondern dazu nur zu Hochwasserzeiten imstande sind, die nach heftigen Winden eingetretenen Verflachungen oft lange liegen bleiben und die Schiffahrt stören, daß ferner an der leeseitigen Mole ein tiefer Kolk entsteht, der ihren Bestand gefährdet, und daß durch die an dem kürzeren Leitdamm entstehende Sandbank eine unangenehme Enge der Hafeneinfahrt bewirkt wird, die den Schiffen das Einlaufen erschwert. Für große und lange Schiffe wird dies um so schwieriger, je stärker die Krümmung des längeren Dammes ist.

Bei der umgekehrten, durch Abb. 192 in den Grundzügen dargestellten Anordnung wird sich der Spülstrom, sowie er über das Ende des kürzeren Dammes hinausgelangt, da er die Führung verliert, ausbreiten und dadurch an Wirksamkeit einbüßen.

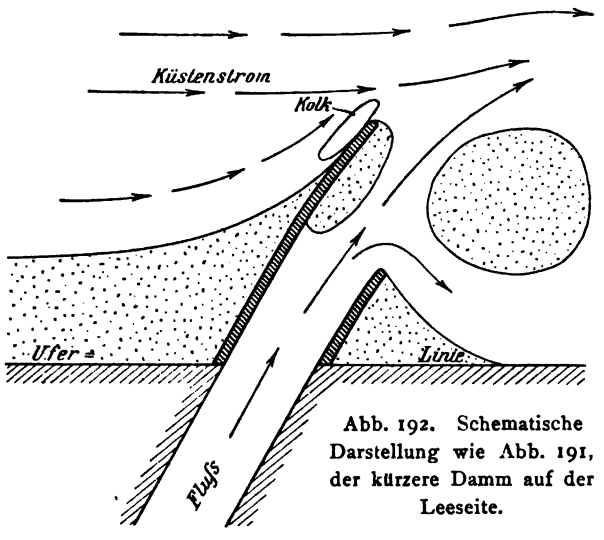


Abb. 192. Schematische Darstellung wie Abb. 191, der kürzere Damm auf der Leeseite.

Durch entsprechende Krümmung des längeren Dammes sucht man diesem Übelstand zu begegnen. Wenn auch leicht einzusehen ist, daß diese Anordnung für die Führung des Küstenstroms günstig ist, so darf doch nicht übersehen werden, daß doch im Lauf der Zeit an der Innenseite des längeren Dammes eine Sandablagerung entstehen wird, deren Entstehung durch die Ausbreitung des Spülstroms begünstigt wird und deren Lage der Schiffahrt sehr unbequem wird, die sonst von der Anordnung erhebliche Vorteile hat, indem einkommende Schiffe hinter dem vorstehenden Ende sofort Schutz gegen Seegang und Strömung finden und keine Gefahr laufen, auf den leeseitigen Molenkopf zu treiben, während ausgehende Segler bis an den luvseitigen Molenkopf verholt werden können und dann freie Ausfahrt haben.

Zum Schlusse der verschiedenen Möglichkeiten für die Leitdammanordnungen sei noch eine Form besprochen, bei der zu der letztgenannten Anordnung noch eine Mole hinzugefügt wird, so daß das durch Abb. 193 dargestellte Bild entsteht. In diesem Falle entstehen für die Führung der an der Küste entlang wandernden Sande die gleichen günstigen Verhältnisse wie bei der für die freie Küste empfohlenen Molenform, während anderseits der Spülstrom benutzt wird, um die Sandablagerungen in der Einfahrt zu verhindern. Ferner werden in den Hafen eintretende Wellen infolge der starken Er-

weiterung hinter den Molenköpfen an Höhe verlieren und den Hafen weniger beunruhigen, als es sonst bei den Schlauchhäfen der Fall ist. Dagegen wird die Ausbreitung des Spülstroms ebenfalls nicht verhindert und die Bildung von Ablagerungen nicht beseitigt; diese können aber leicht im geschlossenen Becken durch Baggerungen entfernt werden. Ebenso wird es nicht schwer sein, den Raum zwischen dem kürzeren Leitdamm und der Mole für Vorhafenzwecke genügend tief zu halten.

Aus den vorstehenden Ausführungen, die deswegen eingehender behandelt wurden, weil sie für die deutschen Ostseeverhältnisse von Wichtigkeit sind, geht hervor, daß im allgemeinen die Anordnung paralleler Leitdämme, geneigt

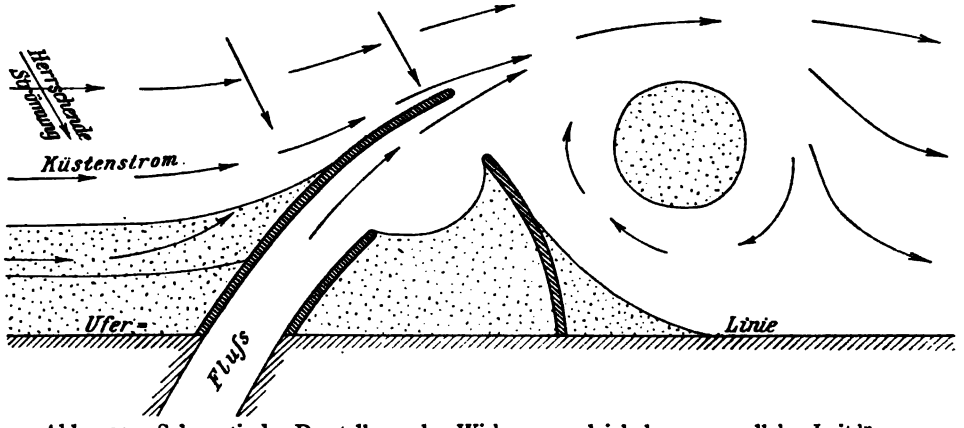


Abb. 193. Schematische Darstellung der Wirkung ungleich langer paralleler Leitdämme unter Hinzufügung einer zweiten nach außen gekrümmten Mole.

zum Ufer, bei annähernd gleicher Länge für den Ausbau von Flußmündungen zu Hafeneinfahrten zweckmäßig ist, daß aber diese allgemeine Regel bei besonderen örtlichen Verhältnissen oder Nebenabsichten Abänderungen erfahren muß. In berechtigten Wettbewerb mit dieser Anordnung kann aber auch die Anordnung schräg aufeinander zulaufender oder noch besser konvex nach außen gekrümmter Molen treten.

Darauf sei aber noch besonders hingewiesen, daß durch keine auch noch so geschickte Anordnung der Leitdämme die natürliche Spülkraft auf die Dauer so ausgenutzt werden kann, daß Baggerungen ganz vermieden werden können, ebensowenig wie das allmähliche Vorrücken der Küste und eine spätere Verlängerung der Werke. In neuerer Zeit hat man durch leistungsfähige Saugebagger auf der Barre und in der Einfahrt so gute Erfolge erzielt, daß eine Verlängerung der Leitdämme zurzeit entbehrlich erscheint. Eine Reihe von Beispielen möge zur Erläuterung des Gesagten dienen; bei der Auswahl wurde, wie bereits früher bei den Beispielen für Handelshäfen, danach gestrebt, die Einfahrten zu den deutschen Häfen möglichst vollständig wiederzugeben, gleichviel, ob die betreffenden Beispiele Musterlösungen darstellen oder nicht.

Die Hafendämme von Kolberg.[1]) Der Hafen von Kolberg liegt an

[1]) Benoit u. Roloff, Baugeschichte des Hafens von Kolberg, Zeitschrift für Bauwesen 1899, S. 79 u. 249, Bl. 15 u. 16.

der Mündung der Persante, des bedeutendsten der hinterpommerschen Küstenflüsse. Die Mündung ist schon seit sehr langen Zeiten festgelegt und durch Leitdämme eingefaßt gewesen; jedoch wies die Einfahrt bis zum Jahre 1837, als der Hafen in die preußische Verwaltung überging, nur 2,5 bis 3 m Tiefe auf, ein Übelstand, der der trichterförmig sich erweiternden Anordnung der Leitdämme, ihrer geringen Länge und auch dem Umstand zugeschrieben wurde, daß die Köpfe beider Molen gleichweit in die See vortraten. Der weitere Ausbau der Hafeneinfahrt erfolgte in zwei Abschnitten, in den Jahren 1839 bis 1849 bis zu dem durch Abb. 194 dargestellten Zustand und in den Jahren 1853 bis 1885 in der durch Abb. 195 wiedergegebenen, dem heutigen Zustand entsprechenden Weise.

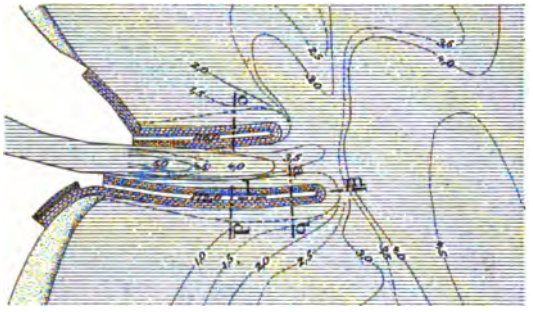


Abb. 194. Molen (Leitdämme) des Hafens von Kolberg, Zustand vom Jahre 1853.

Bei der Anordnung der Leitdammverlängerung gab man zunächst die sich erweiternde Form auf und ging zu einer parallelen über; der Abstand

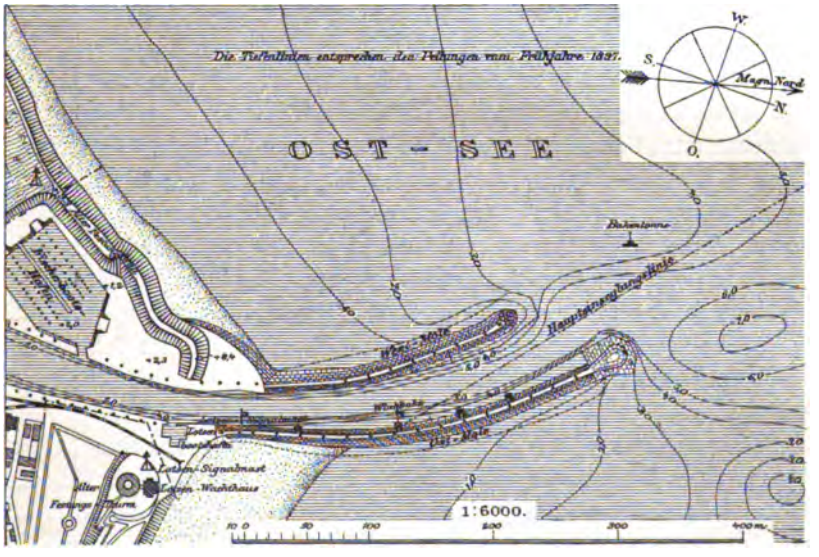


Abb. 196. Molen (Leitdämme) des Hafens von Kolberg, Zustand vom Jahre 1897.

wurde auf 29 m festgesetzt. Die Richtung der leicht gekrümmten Dämme wurde den vorherrschend westlichen Winden entgegen gebogen und der östliche Damm zur längeren Führung der Strömung und zur Erleichterung der Einfahrt bei Nordoststürmen um 59 m über den westlichen Molenkopf hinaus bis etwa zur 4 m-Tiefenlinie verlängert. Der Erfolg der Maßnahmen

war ein zufriedenstellender, indem die Tiefen in dem Hafenkanal sich allmählich bis auf 4,5 m im Durchschnitt vergrößerten, abgesehen von Verflachungen nach stärkeren Stürmen, zu deren Beseitigung Baggerungen zu Hilfe genommen werden mußten. Abb. 195 mit den Peilungen des Jahres 1897 zeigt die Ausbildung der Tiefenverhältnisse; danach hält sich nördlich des Hafens eine Tiefe bis zu 7 m, während östlich der Ostmole starke Sandablagerungen stattgefunden haben. Auch an der Westmole ist der Strand bedeutend vorgerückt und bedroht die Einfahrtrinne. Besonders treten nach westlichen Stürmen stärkere Versandungen ein; bisher hat sich aber unter Zuhilfenahme von Baggerungen dank dem kräftigen Ausstrom der Persante ein befriedigender Zustand erhalten lassen; die heute erhaltene Tiefe beträgt rd. 5 m.

Als besonders vorteilhaft wird im Kolberger Hafen, der durch die Anordnung der Molen erreichte Schutz gegen Seegang empfunden, der hier allerdings besondere Bedeutung besitzt, da der eigentliche Hafen in geringer Entfernung oberhalb der Molenwurzeln bei fast gleicher Breite wie die Einfahrt beginnt, so daß einlaufende Wellen keine nennenswerte Abstillung erfahren.

Trotz der günstigen Erfahrungen möchte Verfasser die Leitdammanordnung nicht als nachahmenswert bezeichnen, die Abbiegung der Leitdammrichtung gegen den Küstenstrom muß auf die Dauer ungünstig auf das Vorrücken des Strandes wirken und zu immer kräftigeren Baggerungen in der Hafeneinfahrt und zu einer Verlängerung der Leitdämme führen. Eine dem später zu behandelnden Hafen von Windau entsprechende Form hätte vielleicht bessere Ergebnisse bei gleichem Schutz gezeitigt.

Der Hafen zu Stolpmünde.[1]) Auch der an der Mündung der Stolpe seit alten Zeiten vorhandene Hafen besaß schon frühzeitig eine durch parallele, fast senkrecht zur Küstenlinie gerichtete Leitdämme festgelegte Mündung, die jedoch durch die vom Küstenstrom herangeführten Sandmassen unter dem Einfluß wechselnder Ströme häufig versandete. Zur Abhilfe wurden mehrere Verlängerungen der Molen vorgenommen, und zwar abwechselnd die eine oder die andere, so daß sie sich abwechselnd überragten. Hierbei traten jefällig die in den allgemeinen Erörterungen angegebenen Erscheinungen ein, die auf den Peilplänen der angezogenen Quelle dargestellt und äußerst lehrreich sind. Nach jeder Verlängerung verschwand der anfangs eingetretene Erfolg durch das zunehmende Vorrücken des Strandes.

Man erkannte, daß auf längere Zeit hinaus nur durch eine bedeutende Verlängerung der Leitdämme, die den Verflachungen des Strandes bedeutend vorauseilte, in der Hafenmündung eine größere Tiefe sichergestellt werden konnte. Da aber der bisherige Einfahrtkanal bei einer Länge von 165 m nur rd. 17 m Breite hatte, erschien mit Recht eine weitere Verlängerung untunlich, und man beschloß, vor der alten Einfahrt einen von Molen umschlossenen Vorhafen von 305 m Länge und 120 m Breite mit rechteckiger Gestalt anzulegen, dessen

[1]) Anderson, Baugeschichte des Hafens von Stolpmünde. Zeitschrift für Bauwesen 1897, S. 93 u. 241, Bl. 12 bis 14.

Zander, Der Bau der neuen Molenköpfe am Hafen in Stolpmünde. Zeitschrift für Bauwesen 1902, S. 537, Bl. 71.

vorläufiger Abschluß im Hinblick auf spätere Verlängerung durch kurze, eine 36 m weite Einfahrt zwischen sich lassende Flügelbauten bewirkt wurde (Abb. 196). Der in den Vorhafen hineinragende Teil der alten Westmole wurde im Jahre 1879 beseitigt und dadurch die Länge des alten engen Hafenschlauches auf 55 m verkürzt. Das Ziel der Maßnahmen war, eine Einfahrttiefe von 3,8 m sicherzustellen; es wurde jedoch nur unvollkommen erreicht, indem die von dem Küstenstrom herangeführten Sandmassen sich bei geringer oder aufgehobener Hafenausströmung in oder vor der Hafenmündung ablagerten und bei stärkerem Seegange und eingehendem Strome in den Hafen vordrangen. Sehr zutreffend findet Anderson die Erklärung in der wenig geschickten Anordnung der Hafenaußenwerke. Er weist darauf hin, daß bei der Anlage „der ausgehende Strom zur Beseitigung der eintretenden Verflachungen nicht ausgenutzt wird, da er schon am alten Ostmolenkopf infolge des dortigen Zurücktretens der neuen Mole auf eine längere Strecke seine Führung verliert

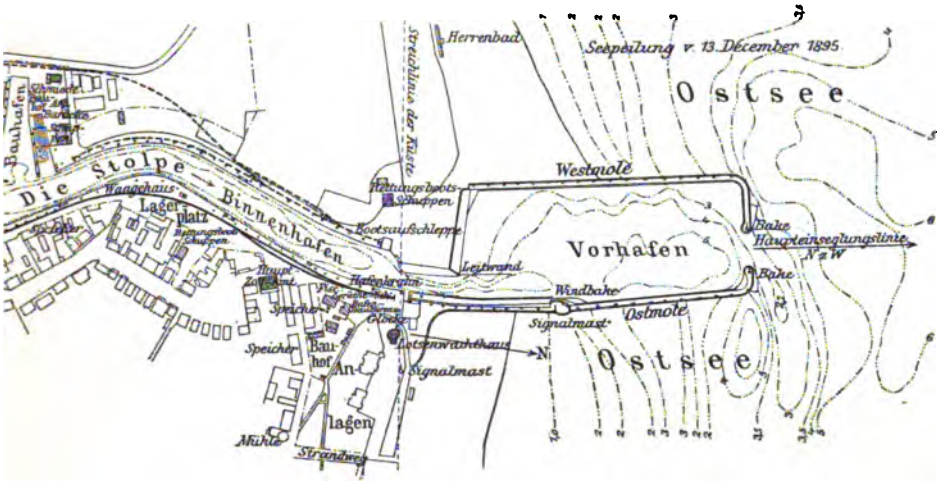


Abb. 196. Hafen von Stolpmünde, Zustand im Jahre 1895.

und wahrnehmbar abgeschwächt wird und weil durch den an der Hafenmündung quer vortretenden Flügel der Ostmole die verminderte Spülkraft im allgemeinen fast ganz aufgehoben wird". Eine glatte, wenig gekrümmte Führung des östlichen Dammes hätte zweifellos die vorhandene Spülkraft der Stolpe besser zusammengehalten und verwertet.

Aber auch die Richtung der Westmole ist gegenüber dem Küstenstrom nicht günstig; auch darüber bemerkt Anderson: „Was die Richtung der Westmole betrifft, so ist anzunehmen, daß die vorherrschende westliche" (richtiger als östliche zu bezeichnende) „Küstenströmung an dem Hafen, unter Mitnahme der treibenden Sände, besser vorbeigeführt werden würde, wenn die Mole der Ostmole nicht parallel laufen und der Richtung des Küstenstromes nicht gerade entgegentreten, sondern diesen wie die Westmole in der neuen Hafenanlage zu Rügenwaldermünde allmählich vom Ufer nach der Hafenmündung ablenken würde."

Auch empfiehlt er, wenigstens bei einer späteren Verlängerung der Molen, diesen Vorschlägen Rechnung zu tragen, wie es tatsächlich bei der in

den ersten Jahren dieses Jahrhunderts erfolgten Vorschiebung um rd. 127 m bei gleichzeitiger Erweiterung der Einfahrt auf 41,5 m geschehen ist.

Die Gestaltung der Hafendämme hat dadurch (Abb. 197) annähernd das Spiegelbild der Anordnung des Windauer Hafens angenommen. Noch günstiger wäre es zweifellos gewesen, wenn die Westmole an ihrer Wurzel in größerem Abstande von der Ostmole begonnen hätte und zum Ufer schräg gerichtet gewesen wäre; dadurch wäre ein zweiter Übelstand des Stolpmünder Hafens, das Eintreten starken Seeganges (die sogenannte Gaiung) in den inneren Hafen, gemildert worden. In dieser Hinsicht wäre auch die Beibehaltung des im Vorhafen hineinragenden Endes der alten Westmole richtiger gewesen, an deren Stelle man später wieder einen hölzernen Leitdamm errichtete. Die bei diesem Beispiel gemachten lehrreichen Erfahrungen bestätigen die in den allgemeinen Erörterungen zu diesem und dem vorigen Abschnitt gemachten Ausführungen.

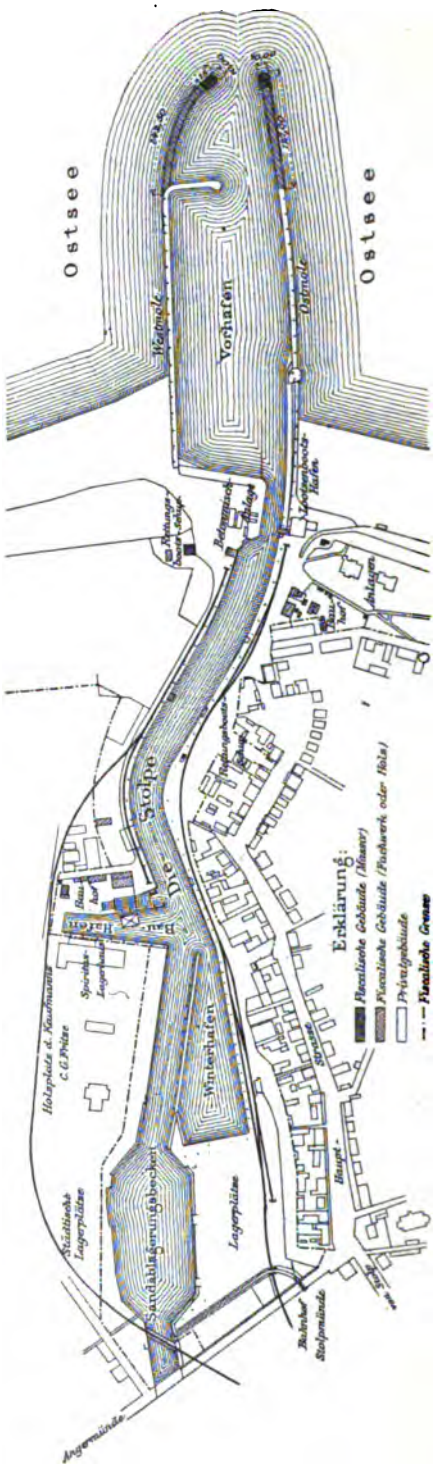


Abb. 197. Hafen von Stolpmünde, Zustand vom Jahre 1902.

Der Hafen von Neufahrwasser. Obgleich heute nicht mehr an der Mündung eines lebenden Stromes gelegen, bietet der Hafen von Neufahrwasser durch seine Entstehung besonderes Interesse.

Die Weichsel mündete früher bei Weichselmünde an der Stelle, wo auf Abb. 198a das Wort Bauhof steht. Vor dieser Mündung bildete sich durch die Sinkstoffe des Flusses eine starke Barre, so daß die Einfahrtrinne einem steten Wechsel unterworfen war. Um diesem Übelstande zu entgehen, wurde allmählich eine zwischen der Küste und einer westlich der Weichselmündung entstandenen Insel, der Westerplatte auf Abb. 198a, gelegene Rinne durch Baggerungen vertieft, mit befestigten

Ufern und Molen versehen und durch eine Schleuse von der Weichsel abgeschlossen. Auf diese Weise entstand ein neues Westfahrwasser, der heutige Hafenkanal, das von den Sinkstoffen des Stromes nicht mehr bedroht wurde, da die Schleuse zu Hochwasserzeiten geschlossen gehalten wurde.

Später, als im Jahre 1840 die Weichsel sich bei Plehnendorf eine neue Mündung schuf, wurde die Schleuse beseitigt und der bisherige Weichsellauf geschlossen, so daß der Hafenkanal mit seinen Molen die Mündung der toten Weichsel wurde.

Der Ausbau der auf Abb. 198a dargestellten molenartigen Leitdämme wurde im Jahre 1824 begonnen. Die Hauptmole, die Ostmole, hat eine Länge

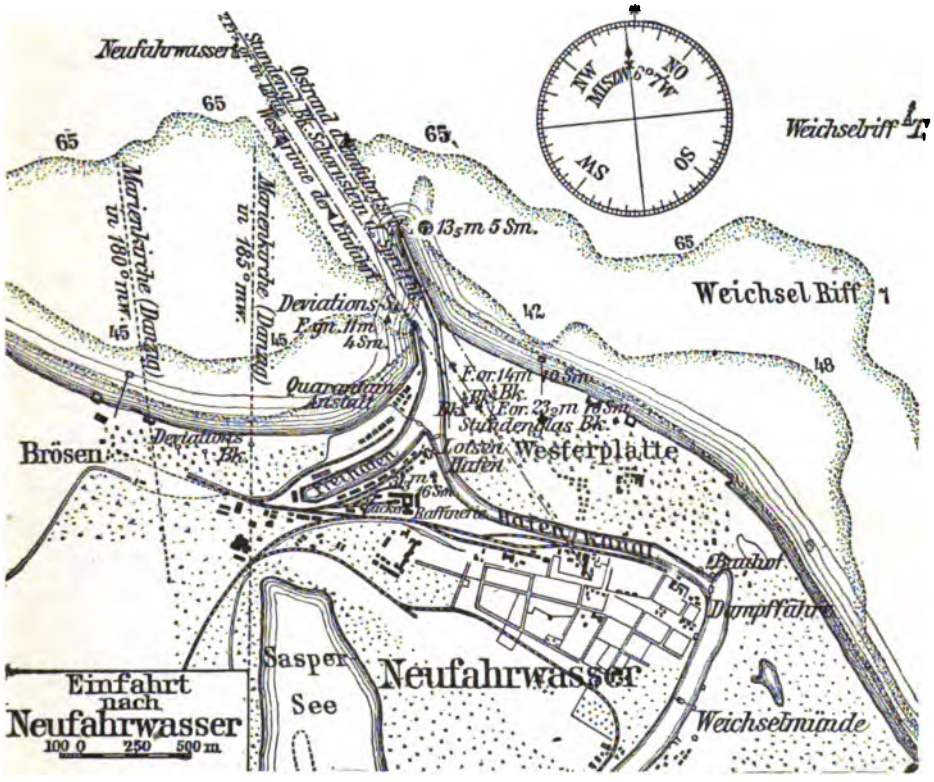


Abb. 198a. Hafeneinfahrt von Neufahrwasser.

von 831 m und tritt 440 m über den Kopf der 208 m langen Westmole vor, deren Kopf 61 m Durchfahrt zwischen beiden freiläßt. Durch das Überragen der Ostmole ist die Einfahrt bei östlichen Stürmen sehr geschützt. Da seit der Verlegung der Weichselmündung neue Sinkstoffe in der Nähe der Molen nicht ausgeworfen werden, der Hauptküstenstrom, von der Halbinsel Hela ausgehend, über die Danziger Bucht hinweggehend erst weiterhin die Frische Nehrung trifft und die örtliche Sandbewegung gering ist, so haben sich Veränderungen der Molen aus dem Grunde der Offenhaltung des Hafens bisher nicht als notwendig herausgestellt. Durch geringfügige Baggerungen kann die

nötige Tiefe in der Hafeneinfahrt erhalten werden, wie Abb. 198b nach den Peilungen vom Sommer 1909 zeigt. In neuerer Zeit sind durch die immer größer werdenden Schiffe Pläne zu weiterer Verbesserung der Hafeneinfahrt veranlaßt worden, über deren Ausführung jedoch noch nicht Beschluß gefaßt ist.

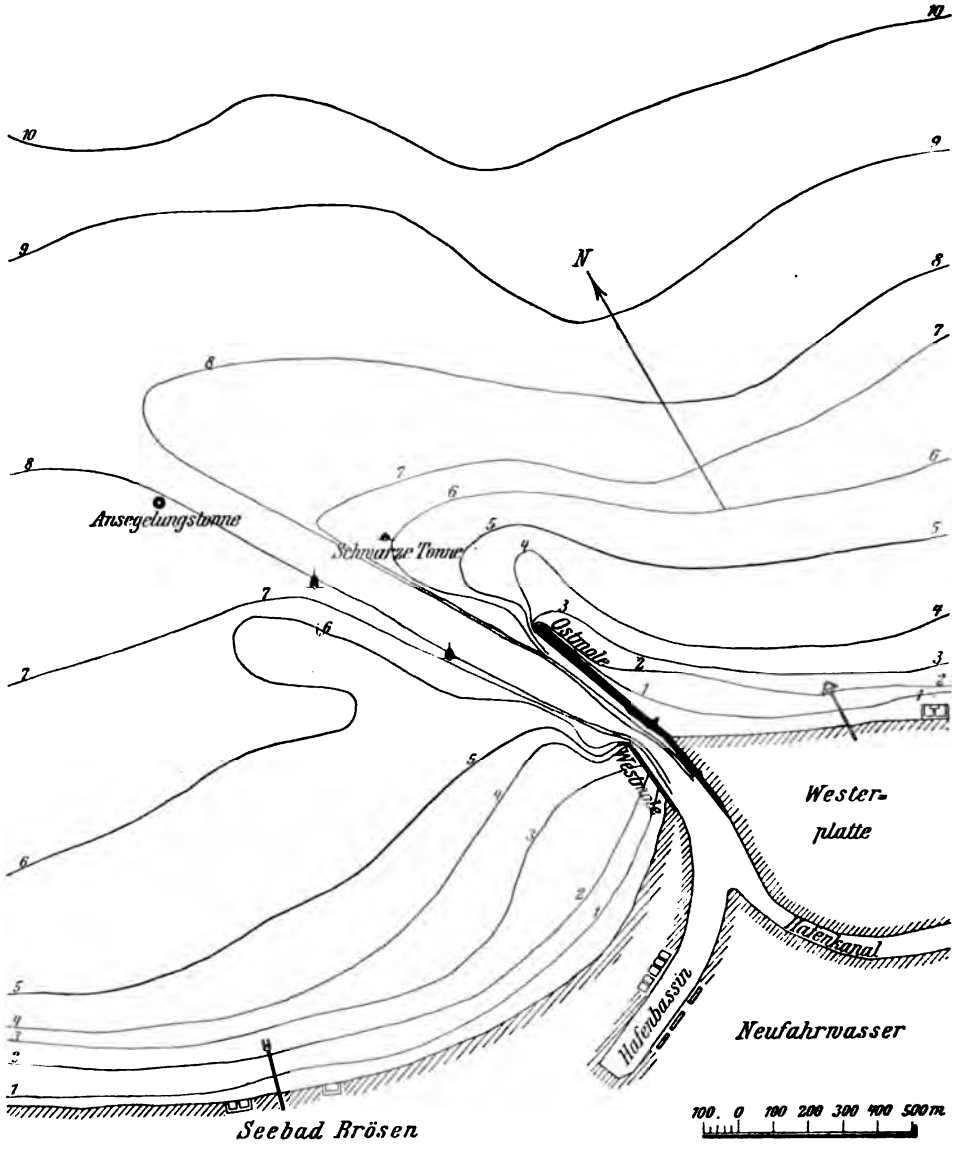


Abb. 198b. Hafeneinfahrt von Neufahrwasser mit Peilungen vom Sommer 1909.

Der an der Wippermündung belegene Hafen von Rügenwaldermünde unterliegt ähnlichen Verhältnissen wie Kolberg und Stolpmünde. In früheren Zeiten hatte man wie dort durch parallele Leitdämme versucht, die Mündung festzulegen und ihr genügende Tiefe zu geben. Seine jetzige Gestalt erhielt der Hafen durch die im Jahre 1873 begonnenen Molenbauten

(Abb. 199); durch diese wurde ein rd. 400 m langer, im Mittel 270 m breiter Vorhafen gebildet, der durch eine 40 m weite Einfahrt zugänglich ist. Die Form der Molen wurde den örtlichen Verhältnissen günstig angepaßt, indem die Ostmole behufs Führung des Spülstroms eine leichte Krümmung erhielt und die Westmole zur Vorbeiführung der Wandersände und geneigt zum Ufer beginnend eine nach außen konvexe Gestalt erhielt. Mit Zuhilfenahme einiger Baggerungen wird heute eine Tiefe von 5 m in der Hafeneinfahrt erhalten. Die Anordnung der Molen stellt eine empfehlenswerte Lösung dar.

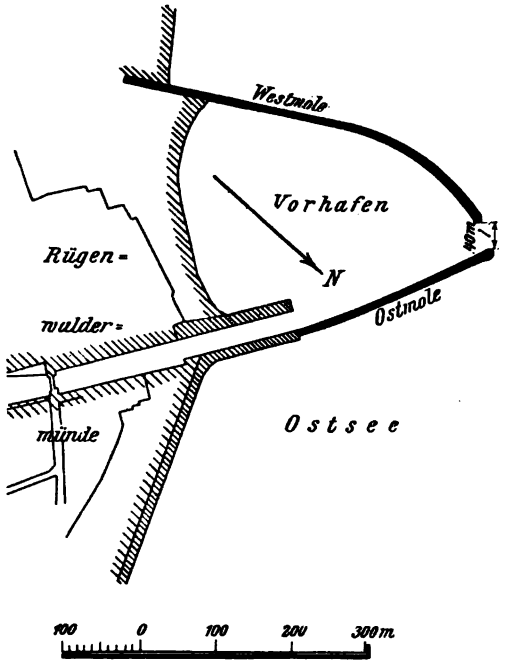


Abb. 199. Hafen von Rügenwaldermünde.

Eine ähnliche Form hat der russische Hafen von Windau erhalten, doch stellt er in seiner äußeren Gestalt das Spiegelbild zu dem vorigen Beispiel dar. Der Hafen liegt an der Mündung des Windauflusses, der den Abfluß eines mehrere Zuflüsse aufnehmenden Sees bildet und auf seiner unteren Strecke 120 bis 200 m Breite bei 7 bis 8 m Tiefe und 0,15 bis 0,23 m mittlerer Stromgeschwindigkeit aufweist. Die Sinkstoffe des Flusses lagern sich vorwiegend in den Seen ab, so daß sie an der Barrenbildung vor der Mündung nur unerheblichen Anteil nehmen.

An der früher durch parallele Leitdämme eingefaßten Mündung von 90 m Weite verursachte der nördlich gerichtete Küstenstrom ständige Versandungen, so daß man daran zweifelte, eine dem Hafen entsprechende Tiefe durch Baggerungen allein zu erhalten. Dieser Übelstand führte zur Erbauung der beiden Molen, die heute der Hafeneinfahrt ihre Gestalt geben und die Erhaltung einer Einfahrttiefe von 7,5 m sicherstellen (Abb. 200).

Von den Molen schließt die südliche an den bisherigen Leitdamm an und führt in leicht nach außen gekrümmter, für die Ablenkung des Küstenstroms günstiger Form bis zu einer Tiefe von 7,6 m; die Nordmole ist ebenfalls schräg zum Ufer geneigt und nähert sich mit sanfter Krümmung dem Kopf der Südmole auf rd. 300 m. Beide Molen umschließen einen geräumigen Vorhafen, in dessen südlichem Teil gleichlaufend mit der Südmole eine breite, bis zu 7,6 m tiefe, 160 m breite Fahrrinne ausgebaggert ist.

Nach der Ausführung der Molen zeigten sich bald die aus den allgemeinen Erörterungen bereits bekannten Folgewirkungen der künstlichen Einbauten in einen beweglichen Küstensaum und das auf Abb. 200 dargestellte, bei den vorherrschend südwestlichen Winden entstehende Strömungsbild.

In den Winkeln an den Molenwurzeln fanden Ablagerungen statt, die ein

Vorschieben der Strandlinie bewirkten, und zwar auf der Südseite stärker als auf der nördlichen. In der Nähe der Molenköpfe bildeten sich auf der Außenseite infolge der Zusammendrängung des Küstenstroms Kolke aus, und zwar infolge des Überwiegens der nördlich gerichteten Strömung am Südmolenkopf besonders nach SSW- und W-Stürmen am stärksten, und vor der Hafeneinfahrt entstand jährlich nach den Herbst- und Winterstürmen eine Barre von der ungefähren Breite der Hafeneinfahrt und rd. 250 m Länge, deren Höhe am

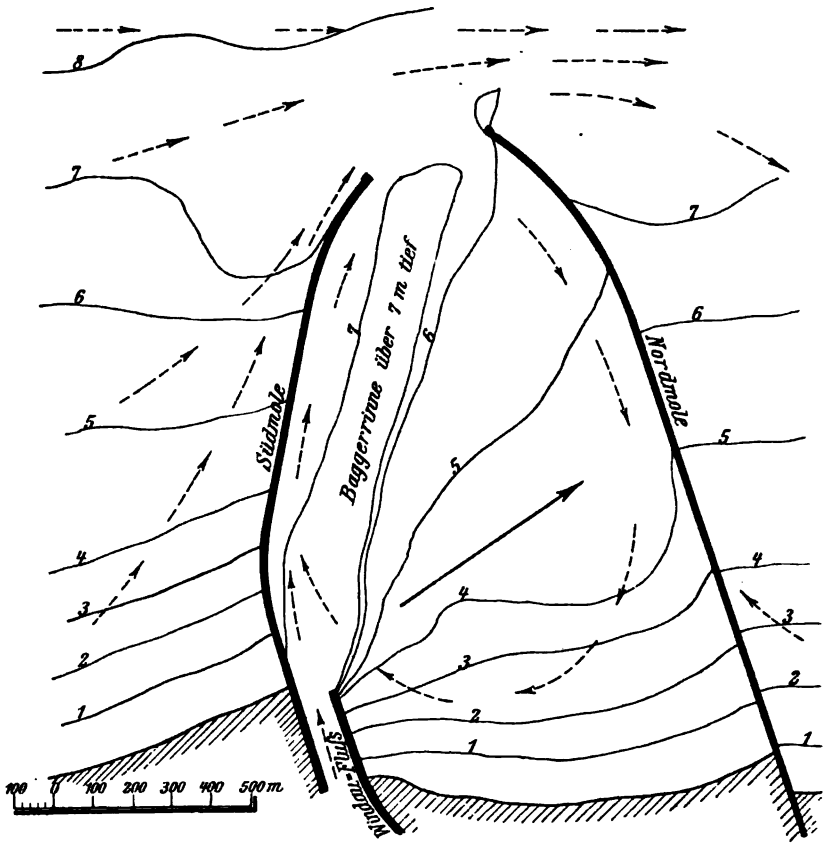


Abb. 200. Hafen von Windau mit Peilungen vom Jahre 1907.

Nordmolenkopf größer als am Südmolenkopf ist und deren Inhalt auf 100 000 bis 150 000 cbm geschätzt wird. Die Ablagerungen in dem Vorhafen selbst sind bisher geringfügiger Art gewesen.

Im großen und ganzen kann die Hafenanlage ihrer richtigen Molenanordnung wegen als wohl gelungen bezeichnet werden, sie zeigt aber wiederum, daß durch die Form der Molen allein ein dauernder Zustand, der die Erhaltung der geplanten Tiefe gewährleistet, nicht erreicht werden kann, sondern daß dazu regelmäßige Baggerungen mitwirken müssen, um die unvermeidlichen Ablagerungen zu beseitigen. Den Eisverhältnissen gegenüber hat der Hafen auch nach den Molenbauten den bisherigen günstigen Zustand behauptet und sich bisher stets als eisfrei erwiesen.

Die Reihe der Beispiele für Häfen im Sandgebiet von Binnenmeeren sei nun noch durch zwei weitere vervollständigt, bei denen ein guter Erfolg durch Zusammenfassung der Spülkraft mit parallelen Leitdämmen erzielt wurde.

Die Sulinamündung. Die Mündung der Donau in das Schwarze Meer zeigt eine ausgesprochene Deltabildung. 65 Seemeilen vor der Mündung teilt sich der Strom in zwei Arme, in den Kilia im Norden und in den Tultscha im Süden; letzterer spaltet sich weiter in den Sulina und den Arm von St. Georges. Von den drei Armen, die sich unter starker Barrenbildung in das Meer ergießen, führt der Kiliaarm etwa $^{17}/_{37}$ der Gesamtwassermenge, der St. Georges-Arm $^{8}/_{37}$ und der Sulinaarm $^{2}/_{37}$. Entsprechend dieser Teilung hat sich die Delta- und Barrenbildung an ihren Mündungen ausgebildet. Für die Herstellung einer Hafeneinfahrt erschien der Sulinaarm am geeignetsten, einmal weil er sich nicht weiter verzweigte, ferner weil ihm die geringsten Sinkstoff-

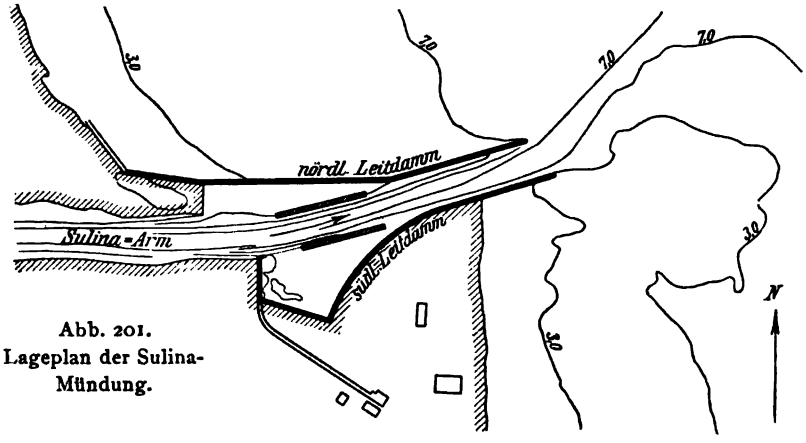


Abb. 201.
Lageplan der Sulina-Mündung.

mengen zugeführt wurden und er sonst auch in wirtschaftlicher Beziehung am günstigsten gelegen war. Die Tiefe auf der Barre vor seiner Mündung betrug im Jahre 1857 vor der Inangriffnahme der Arbeiten nur 2 bis 3 m. Durch Anlage von zwei vom Ufer aus zunächst zusammenlaufenden, in ihrer Fortsetzung aber parallelen Leitdämmen (vergl. Abb. 201) gelang es, den Strom des Flußarmes so zusammenzuhalten, daß unter Zuhilfenahme von mäßigen Baggerungen eine Tiefe von 7 m auch in der Zufahrtrinne außerhalb der Leitdämme unterhalten werden konnte. Wie die Tiefenlinien auf Abb. 201 erkennen lassen, ist das Vorrücken des Ufers an dem nördlichen Leitdamm in mäßigen Grenzen geblieben; die Hauptablagerungen erfolgen südlich von dem Einfahrtkanal und dem südlichen Leitdamm. Der Erfolg der in den Jahren 1858 bis 1876 ausgeführten Anlagen war für die Entwicklung der Donauschiffahrt ein glänzender. Es ist damit der Weg vorgezeichnet, der auch für die Zukunft unter Umständen unter Verlängerung der Leitdämme die Erhaltung der Einfahrttiefe sicherstellen kann.

Ähnliche Maßnahmen sind an zwei Mündungsarmen des in den Golf von Mexiko mündenden Mississippi zur Ausführung gelangt. Von den drei das Deltagebiet dieses mächtigen Stromes durchbrechenden Hauptarmen fiel dem mittleren $^{1}/_{10}$ der Gesamtwassermenge (7000 bis 34000 cbm/Sek.) zu,

während die beiden äußeren zu gleichen Teilen an der Abführung der übrigen Wassermenge beteiligt waren. Infolge dieser Verteilung der Abflußmengen war auch das Vorrücken der Ablagerungen vor dem mittleren Arm, dem Südpaß, am geringsten. Die Tiefe innerhalb der Hauptarme schwankte zwischen 10 und 18 m, war aber nicht ausnutzbar, da mächtige, aus den Sinkstoffen des Stromes entstandene Barren die Einfahrten versperrten. Auf Anregung des Kapitäns M. J. Eads sollte ursprünglich der Südwestpaß durch Anordnung zweier annähernd parallelen Leitdämme, die über die Barre hinwegführten, für den Eintritt der Seeschiffahrt geöffnet werden. Aus den gleichen Gründen wie bei der Wahl der Sulinamündung aber und weil die Aufgabe weniger gewaltig erschien, wurde davon abgesehen und für die Ausführung der Eadsschen Vorschläge der kleinere Südpaß bestimmt. Die in den Jahren 1876 bis 1879 hergestellten Leitdämme hatten 3600 bezw. 2400 m Länge und befanden sich in einem Abstande von 305 m. Der Erfolg entsprach den Erwartungen, indem ohne wesentliche Baggerungen, allein durch die Strömung eine Tiefe von 9,40 m auf der Barre erreicht wurde. Die Durchführung des Unternehmens

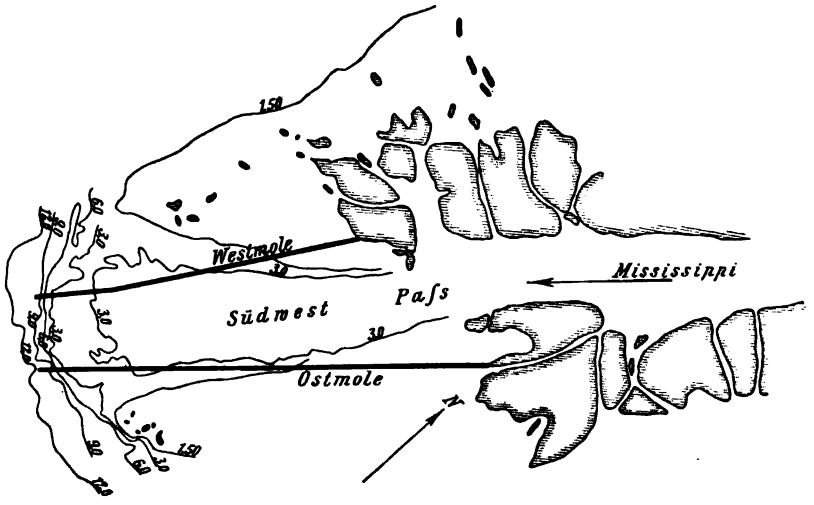


Abb. 202. Lageplan der Südwest-Mündung des Mississippistromes.

gelang schon deswegen leichter als an der Sulinamündung, als die Meerestiefe an der Außenseite der Barre stark zunahm.

Der Erfolg sollte aber nicht von sehr großer Dauer sein; im Jahre 1892 bildete sich in dem nördlichen Hauptarm eine neue Öffnung, die diesem Arm noch mehr Wasser als bisher zuführte, so daß die Spülkraft des die Leitdämme des Südpasses durchströmenden Wassers abnahm und sich vor der Mündung eine neue Barre zu bilden begann.

Diese Umstände lenkten die Aufmerksamkeit der Ingenieure wieder auf den Südwestpaß, der schon von Natur für die Schiffahrt die günstigsten Verhältnisse dargeboten hatte, da die geringste Tiefe auf seiner Barre immer noch 5,8 m betragen hatte. Die um 1908 beendeten Arbeiten bestanden, wie Abb. 202 erläutert, in der Anlage von zwei über die Barre hinfortführenden, anfänglich zusammenlaufenden, in der Nähe der Enden aber parallelen Leitdämmen von 6500

bezw. 4650 m Länge, deren Entfernung an den inneren Enden rd. 1800 m und an den äußeren 1070 m betrug und deren Köpfe bis zur Tiefe von 10,7 m vorgeschoben wurden. Auch an dieser Stelle nimmt die Meerestiefe schnell zu. Zur Auflockerung und Vorzeichnung der zu vertiefenden Rinne auf der Barre wurden mehrere große Bagger benutzt. Die geplante Tiefe von 10,7 m ist unschwer nach der Vollendung der Leitdämme erreicht worden.

2. In Meeren mit Ebbe und Flut. Wesentlich anders als in den Binnenmeeren liegen die Verhältnisse der Flußmündungen in den Meeren mit Ebbe und Flut. Mit jeder Tide findet ein regelmäßiger Wechsel von Ein- und Ausstrom statt, wobei letzterer durch die Binnenwässer verstärkt wird. Die natürliche Ausbildung der Flußmündungen ist je nach den örtlichen Verhältnissen, der Größe des Flutwechsels und der Ausdehnung des Flutgebiets, der Bedeutung der Ströme und der Größe und Art ihrer Sinkstoffführung eine sehr verschiedene. Einige halten sich frei von Ablagerungen, während andere an starken Sinkstoffablagerungen leiden, im allgemeinen gestalten sich aber die Verhältnisse an den Strömen im Ebbe- und Flutgebiet günstiger als an denen der Binnenmeere. Bei vielen verbietet die große Ausdehnung des Mündungsgebiets von selbst die Ausführung künstlicher Maßnahmen an der Mündung, so daß die wasserbaulichen Arbeiten auf den Ausbau des Flusses in seinem ganzen Flutgebiet beschränkt bleiben müssen. Auf diese Aufgaben näher einzugehen, ist nicht Zweck dieses Buches, es sei hier aber auf die Ausführungen auf S. 133 u. f. und auf die glänzend gelungene Korrektion der Unterweser hingewiesen, die als Beispiel zeigt, wie durch zweckentsprechende wasserbauliche Maßnahmen die Zufahrten zu den Häfen im Flutgebiet eines Stromes wesentlich und dauernd verbessert werden können.

An den übrigen bedeutenderen deutschen Strömen, der Elbe und der Ems, und vielen Flüssen des Auslandes im Ebbe- und Flutgebiet werden die Einfahrttiefen im wesentlichen durch umfangreiche Baggerungen erhalten.

Bei einigen kleineren Flüssen mit starker Barrenbildung hat aber auch die Anordnung von Leitdämmen zur Verbesserung der Flußmündungen beigetragen. Die Leitdämme beginnen in diesen Fällen an geeigneten Punkten des Ufers und nähern sich, in größere Tiefen führend, geradlinig oder gekrümmt gestaltet, bis sie zwischen ihren Köpfen die erforderliche Einfahrtbreite lassen.

Sie müssen bei ihrer Gestaltung als künstliche Einbauten an beweglicher Küste mit Rücksicht auf die Geschiebeführung den oben dafür entwickelten Gesichtspunkten genügen, außerdem aber auch als Leitdämme den durch die besonderen Verhältnisse der Ebbe- und Fluterscheinung gegebenen Anforderungen entsprechen. In dieser Hinsicht ist die richtige Bemessung der Entfernung zwischen den Molenköpfen von größter Wichtigkeit. Wird sie zu eng bemessen, so hindert sie das Aufsteigen der Flut und vermindert dadurch wiederum die Stärke und Masse des Ebbestroms, gleichzeitig kann die für die Barrenbeseitigung sonst günstige Zusammenfassung des Ebbestroms bei Sturm eine heftige Brandung vor der Einfahrt erzeugen und den Schiffen Schwierigkeiten bereiten. Bei zu weiter Bemessung vermeidet man zwar diesen Übelstand, gewährt dafür aber wenig Schutz für die Schiffahrt und

gegen das Eindringen großer Sinkstoffmassen bei heftigem, auf die Einfahrt zu gerichtetem Seegang. Im allgemeinen wird die normale Breite des Flusses oberhalb der Mündung einen Anhalt für die Bemessung der Einfahrtweite bieten, doch dürfte es ratsam erscheinen, anfänglich eine zu große Breite zu wählen und sich für später eine etwaige Einschränkung vorzubehalten.

Was nun den Erfolg derartiger Leitdammanordnungen angeht, so wird dieser von der Menge der Sinkstoffe des Flusses und der Küstenströmung von der Stärke des Ebbestroms und von der Tiefe, bis zu der die Molenköpfe hinausgeführt sind, abhängen. Nach Ausführung der Leitdämme wird sich zunächst der Strand auf der Außenseite vorschieben, auf der Seite der mächtigeren Strömung am stärksten, bis entweder ein Gleichgewichtszustand eintritt oder die Molenköpfe umwandert werden, so daß es dem Ebbestrom überlassen bleibt, die Einfahrt freizuhalten. Soweit er hierzu nicht imstande ist, wird die Bildung von Sandbänken oder einer inneren Barre die Folge sein; soweit es ihm aber gelingt, die in die Einfahrt eindringenden Sandmassen mit fortzureißen, wird in einiger Entfernung vor der Einfahrt, wo die Kraft des Stromes erlahmt, sich eine äußere Barre bilden. Die Wirkung des Ebbestroms ist bei geringeren Tiefen an den Molenköpfen stärker als bei größeren, da er dann sowohl auf eine geringere Wassermenge trifft, als auch die auflockernde Wirkung der Wellen auf den Untergrund stärker ist.

Die Sinkstoffe des Flusses werden sich, soweit sie größerer Art sind, auf der inneren Barre und mit ihren feineren Bestandteilen auf der äußeren ablagern. Auf die Ablagerungen auf der äußeren Barre können die Tideströmungen an der Küste insofern einen günstigen Einfluß ausüben, als sie bewirken, daß die Barrenbildung nicht in der Einfahrtrichtung, sondern mehr seitwärts stattfindet.

Man erkennt, daß bei der Anlage von Leitdämmen an der Mündung von Flüssen im Ebbe- und Flutgebiet noch weit mehr Umstände zur Erzielung eines guten Erfolges beachtet werden müssen als in den Binnenmeeren. Im allgemeinen aber sind die miteinander kämpfenden Kräfte stärker und regelmäßiger vorhanden, so daß bei richtiger Anordnung der Bauten leichter ein Erfolg zu erzielen ist. Ferner kann durch entsprechende Regelungsbauten die Größe der ein- und ausgehenden Wassermassen gesteigert und dadurch die räumende Wirkung vergrößert werden. Aber auch hier ist ein dauernder Erfolg ohne Baggerungen besonders innerhalb der Leitdämme zur Aufräumung der bei Flut und heftigem Seegang eindringenden Sinkstoffe nur in seltenen Fällen zu erwarten.

Ein Beispiel, bei dem die Leitdämme geradlinig gestaltet und nur in geringe Tiefen geführt sind, bietet die Mündung des Liffey, der Eingang zu dem Hafen von Dublin an der Irischen See (Abb. 203). In der die Mündung des Flusses aufnehmenden Bucht findet durch die See eine sehr starke Sandanhäufung statt; der mittlere Flutwechsel beträgt bei Springflut 3,5 m und bei Nippflut 2,7 m. Da die Ausströmungen des Liffeyflusses allein eine genügende Einfahrttiefe zu dem Hafen nicht erhalten konnten, wurde schon Ende des 18. Jahrhunderts ein über 5,4 km langer südlicher Leitdamm erbaut, dem im Jahre 1820 ein 2400 m langer nördlicher hinzugefügt wurde;

beide lassen eine 305 m weite Einfahrt zwischen sich. Durch diese Maßnahmen besserte sich die Tiefe in der Mündung, doch lassen die starken,

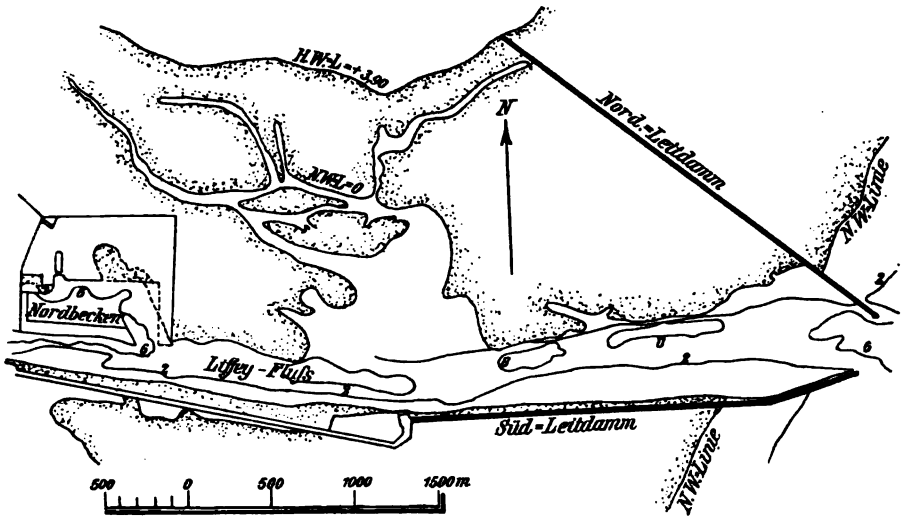


Abb. 203. Hafen von Dublin, Beispiel für Leitdämme an Flußmündung mit Flut und Ebbe.

aus dem Meere kommenden Sandablagerungen einen dauernden Erfolg nicht erhoffen.

Im Gegensatz zu dem vorigen Beispiel wurden bei der Anlage der Leitdämme an dem Tyneflusse, dem Zugang zu dem wichtigen Hafen von

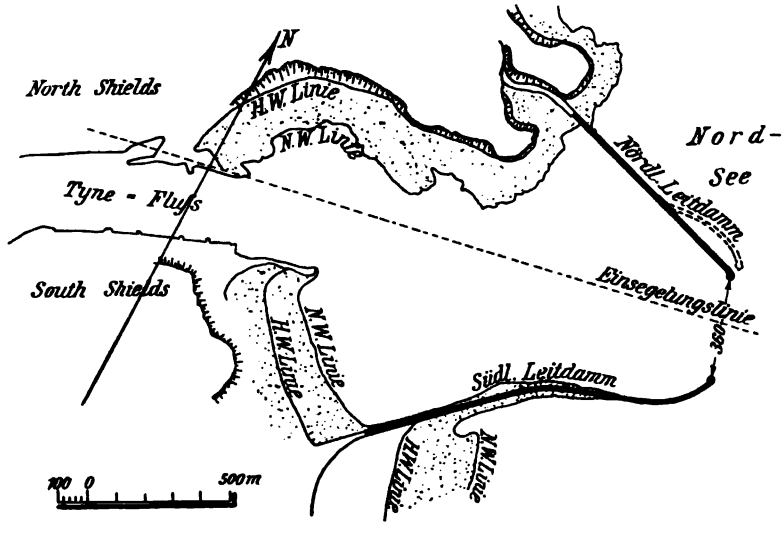


Abb. 204. Mündung des Tyne-Flusses, Beispiel für Leitdämme an Flußmündung mit Flut und Ebbe.

Newcastle, die Molenköpfe bis in eine Tiefe von 9,1 m vorgeschoben. Abb. 204 zeigt die Anordnung der Leitdämme, von denen der nördliche eine Länge von 980 m und der südliche eine solche von 1650 m erhielt; die

Einfahrtweite betrug ursprünglich 395 m. Die Ausführung erfolgte in den Jahren 1859 bis 1895. Durch die Anlage sollte ein günstiger Einfluß auf die vor dem Flusse liegende Barre und außerdem Schutz der Einfahrt gegen

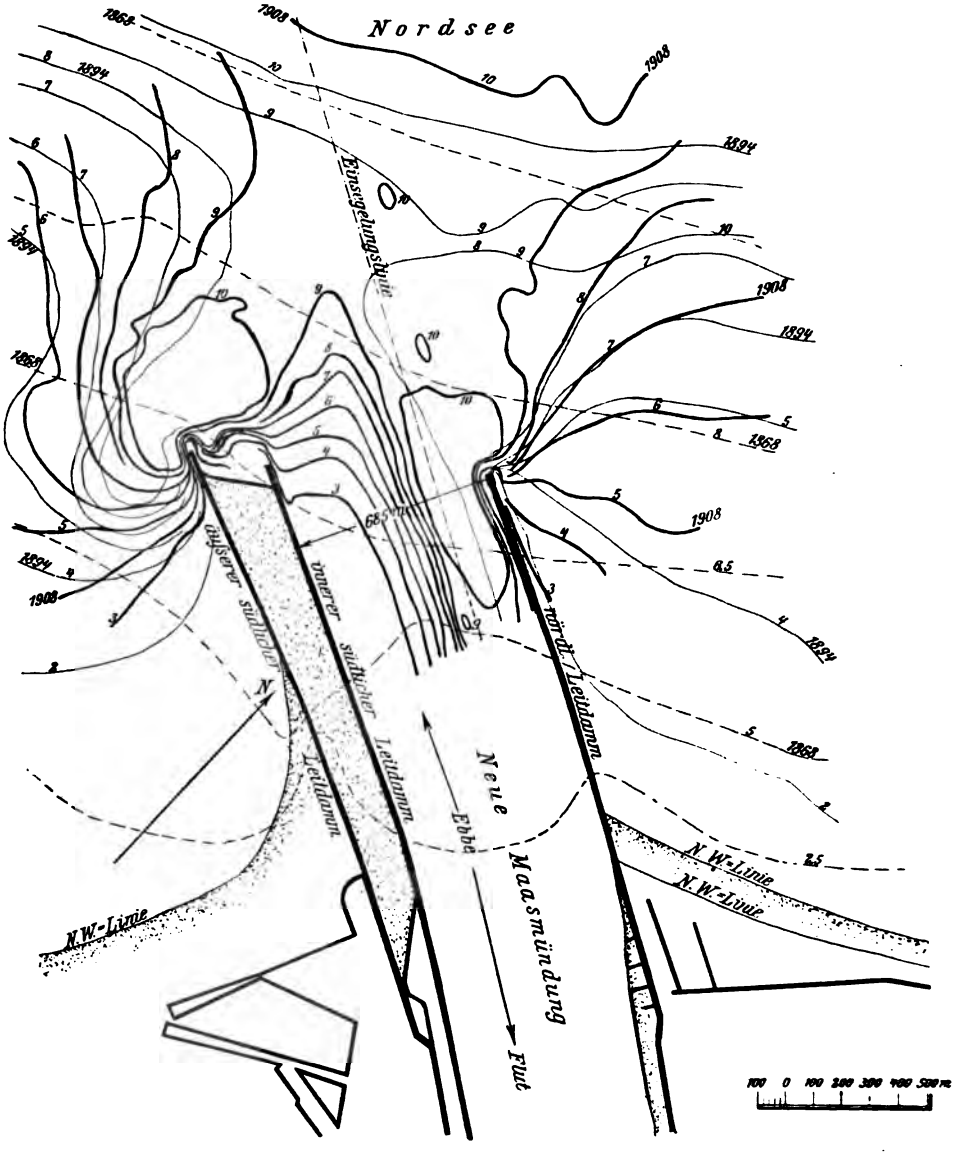


Abb. 205. Neue Maasmündung, Beispiel für Leitdämme an Flußmündung mit Flut und Ebbe.

nord- und südöstliche Stürme erzielt werden. Die eigenartige, geschwungene Gestalt der Leitdämme war ursprünglich nicht beabsichtigt, sondern entstand erst während der Ausführung, als sich der Wunsch herausstellte, den durch die Leitdämme geschaffenen Vorhafen für Zufluchtzwecke möglichst geräumig zu gestalten. Infolge eines heftigen Sturmes im Jahre 1897 entstand eine starke Unterspülung des nördlichen Dammendes, die zu seinem Einsturz auf

rd. 100 m Länge führte. Bei der im Jahre 1909 beendeten Wiederherstellung erhielt der nördliche Leitdamm eine völlig geradlinige, auf Abb. 204 ersichtliche Form unter gleichzeitiger Einschränkung der Einfahrtweite auf 360 m.

Über den Erfolg der Leitdammanordnung allein für die Herstellung einer großen Tiefe in der Flußmündung kann ein zutreffendes Urteil nicht abgegeben werden, da gleichzeitig durch gewaltige Baggerungen und andere bauliche Maßnahmen die Flutverhältnisse des Tyne bedeutend verbessert wurden. Durch Ausführung der gesamten Arbeiten ist jedoch eine Einfahrttiefe von 9 m unter Niedrigwasser, wozu bei Hochwasser noch 4.5 bis 3,4 m kommen, sichergestellt worden, die zu einem ungewöhnlichen Aufblühen des Seeverkehrs auf dem Tyne Veranlassung wurde.

Ein Beispiel für die Anordnung annähernd paralleler Leitdämme an einer Strommündung im Ebbe- und Flutgebiet bildet die neue Mündung der Maas, die in den Jahren 1866 bis 1877 nach einem Entwurf des Ingenieurs P. Caland unter Durchstechung der Dünen am Hoek van Holland und bei gleichzeitigem Abschluß mehrerer Nebenarme zur Ausführung kam. Dabei wurde die neue Mündung durch zwei sich allmählich bis auf 900 m entfernende Molen eingefaßt (Abb. 205). Die ursprünglich gehegte Absicht, die Herstellung der neuen Mündung der Arbeit der Tideströmungen nach Ausführung eines Leitgrabens zu überlassen, mußte später aufgegeben werden, da der Erfolg ein zu langsamer war. Man beschloß daher, den Durchstich in voller Breite durch Baggerungen herzustellen; in den Jahren 1880 bis 1896 wurden über 56000000 cbm Boden auf diese Weise beseitigt und damit eine Tiefe von 10,4 m unter gewöhnlichem Hochwasser (Flutgröße 1,65 m) hergestellt. Gleichzeitig wurde in der Mündung gleichlaufend mit der Südmole ein Niedrigwasserleitdamm hergestellt, der die Mündung auf 685 m einschränkte, da die ursprüngliche Leitdammentfernung sich als zu groß herausgestellt hatte. Seither ist es gelungen, die Einfahrt und den Stromlauf bis Rotterdam durch Zuhilfenahme regelmäßiger Baggerungen so tief zu halten, daß bei gewöhnlichem Hochwasser mindestens 9 m vorhanden sind.

An den auf Abb. 205 dargestellten Peilungen aus den Jahren 1868, 1894 und 1908 lassen sich die Änderungen der Tiefenverhältnisse an den Molen erkennen; sie zeigen ein allmähliches Vordringen starker Ablagerungen gegen die Einfahrtdämme von Süden her, zu deren Verringerung eine etwas nach Süden gekrümmte Verlängerung des nördlichen Leitdammes in neuerer Zeit erwogen wird.[1])

b. Häfen an der Mündung von Haffen oder Lagunen.

Haffe oder Lagunen sind seenartige Becken, die zumeist dadurch entstanden sind, daß ausgedehnte, flache Buchten durch Geschiebeablagerungen vom Meere abgeschlossen wurden. Die Abschlußkörper stellen sich meist als schmale, mit Dünenwällen versehene Landzungen dar und werden als Nehrungen bezeichnet. An einer oder mehreren durch örtliche Verhältnisse begünstigten

[1]) Näheres: The Engineer vom 28. Januar 1910, S. 89; ferner: Engineering vom 28. Januar 1910.

[1]) De Ingenieur 1908, S. 665 u. f. und 1909, S. 184 u. f.

Stellen erhalten sich Durchbrechungen der Nehrungen, „Tiefs" oder „Seetiefs" genannt. Bisweilen schließen sich aber auch diese nach heftigen Stürmen und durch die dadurch bewirkten Sandbewegungen, so daß die Buchten abgeschnürt und in Binnenseen umgewandelt werden, wenn die Ablagerungen nicht zeitig durchstochen werden. Auf diese Weise sind mehrere der hinterpommerschen Küstenseen entstanden.

Die Ausbildung der Tiefs zu Hafeneinfahrten wird davon abhängen, ob durch Ebbe und Flut eine regelmäßige Anfüllung und Entleerung stattfindet oder ob in die Haffe große Ströme ihre Wasser ergießen. Im ersteren Falle liegen ähnliche Verhältnisse vor wie bei den Flußmündungen im Tidegebiet und im letzteren, wo ein regelmäßiger Ausstrom stattfindet, wie bei den Flußmündungen in den Binnenmeeren. Aber auch hier kann durch auflandige Winde und Aufstauen des Meeresspiegels vor der Nehrung ein starker Einstrom entstehen, dem nach dem Abflauen des Windes und dem Abfallen des Wassers ein starker Ausstrom folgt. In beiden Fällen wird es bei den Maßnahmen zur Offenhaltung der Tiefs darauf ankommen, den regelmäßigen oder wechselnden Spülstrom zur Ausnutzung seiner Kraft zusammenzuhalten. Nebenher müssen Anordnungen gehen, die bestimmt sind, die Größe des ausgehenden Stromes zu vermehren oder mindestens zu erhalten.

Bei den im Tidegebiet liegenden Lagunen genügt bei entsprechender Ausdehnung der Becken schon ein geringer Flutwechsel zur Erzeugung eines starken Ausstroms. In der Regel sind die Becken der Ort umfangreicher Ablagerungen der in sie mündenden Flüsse und der bei Flut durch die Öffnung vom Meere eindringenden Sinkstoffe. Zwischen den Ablagerungen bilden sich tiefere Rinnen aus, die bei Ebbe das Wasser nach den Öffnungen zuführen. Da umsomehr Wasser in die Lagune eindringt und wieder ausströmt, je größer ihre Aufnahmefähigkeit ist, so tragen alle Maßnahmen zur Verstärkung des ausgehenden Stromes bei, die das weitere Anwachsen der Ablagerungen in der Lagune verhindern oder ihren Rauminhalt vergrößern. Dazu gehört die Ableitung in die Lagune mündender stark, sinkstofffführender Flüsse und Bäche, die Unterlassung künstlicher Maßnahmen zur Erhöhung der Ablagerungen und die Ausführung von Baggerungen zur Vertiefung der Abflußrinne. Weiter kann die Spülkraft bei dem Vorhandensein mehrerer Öffnungen durch den Abschluß einer oder mehrerer von ihnen und durch Beschränkung des Ausflusses auf eine oder wenige Stellen erhöht werden, ferner kann das Eindringen von Sinkstoffen von See her durch Maßnahmen zur Verringerung der wandernden Geschiebe (Küsten- und Dünenbauten) verringert werden, und endlich wird die Erhaltung der Spülkraft sichergestellt werden durch Schutz der Nehrung gegen Durchbrüche und die Bildung neuer Öffnungen.

In den Haffen der Binnenmeere spielt die Raumerhaltung bezw. -vergrößerung eine geringere Rolle, da das Auftreten von Ein- und nachfolgendem Ausstrom nur selten auftritt und für die Offenhaltung der Tiefs die regelmäßigen Abflußmengen der Flüsse und besonders ihre Hochwasser in Betracht kommen. Die Ableitung von Flüssen kommt daher hier nicht in Frage, während die übrigen Maßnahmen ihre Geltung behalten.

Für den Ausbau der Tiefs durch Hafenaußenwerke verdienen dieselben

Ausführungen Beachtung, wie sie bei den Flußmündungen und bei der Wirkung von Einbauten an beweglichen Küstensäumen, denn um solche handelt es sich hier stets, gemacht wurden. Es handelt sich um die Festlegung und Zusammenfassung des Spülstroms, um die durch die Wandersände drohende Verflachung des Tiefs fernzuhalten. Demnach kommen nur molenartige Bauten in Frage, die ihre Aufgabe als Leitdämme zu erfüllen haben. Im allgemeinen werden sie dies bei paralleler oder wenig aufeinander zulaufender Anordnung tun, wenn sie von vornherein in größere Tiefen geführt werden. Zu beachten bleibt aber dabei ihre Wirkung auf die Veränderung der Küste.

Durch die Einfassung des Spülstroms wird zunächst eine starke Wirkung auf die Barre ausgeübt und deren Tiefe vergrößert. Nach einiger Zeit aber, wenn die Zwickel an den Leitdämmen ausgefüllt sind und der Strand vorgerückt ist, werden besonders nach starken Stürmen und der damit verbundenen Sinkstoffbewegung die Sandmassen in die durch den Spülstrom offengehaltene Rinne eintreten und sie verflachen. Ist dieser kräftig genug, so treibt er sie seewärts in größere Tiefen; sind diese aber ausgefüllt, so ist die Bildung einer äußeren Barre unausbleiblich, zumal der Spülstrom seine Kraft bei dem Auftreffen auf das ruhende Seewasser bald einbüßt und sich ausbreitet. Günstig kann in dieser Beziehung eine mit der Richtung des vorherrschenden Küstenstroms geneigte Anordnung der Leitdämme und eine schwach nach außen gekrümmte Form wirken, indem dann der Spülstrom durch den abgelenkten Küstenstrom verstärkt wird und durch ihre gemeinsame Wirkung die Bildung der Barre auf eine größere Entfernung von dem Leitdammkopf und der Einfahrt verwiesen wird. Ist diese Anordnung nicht möglich, so wird die Beseitigung der Barre nur durch Verlängerung der Leitdämme in größere Tiefen, als man in der Einfahrt zu erhalten wünscht, möglich oder durch regelmäßige Baggerungen.

Zu verhindern ist ferner nicht, daß bei Sturm durch die Wellen und noch mehr bei Einstrom Sinkstoffe in das Innere der Tiefs und selbst des Haffs oder der Lagune geführt werden, wo sie zur Absetzung gelangen, sobald das Wasser sich ausbreiten kann und seine Schleppkraft verliert; auf diese Weise entsteht eine innere Barre, zu deren Beseitigung nur zeitweise Baggerungen in Frage kommen.

In gewissem Maße wird man die Bildung der inneren Barre dann zurückhalten, wenn man die Mündung der Leitdämme von der Richtung der heftigsten Stürme abkehrt oder durch Verlängerung oder Knickung des windseitigen Dammes deckt.

Unter den Beispielen aus dem Flutgebiet sei die Lagune von Venedig zuerst angeführt, da die dort unternommenen Bauten die eingangs des Abschnittes zusammengestellten Regeln bestätigen. Die Lagune hat eine Länge von etwa 53 km, eine Breite von 12 bis 15 km und eine Oberfläche von 58 660 ha. Die hier Lido genannte schmale Landzunge steht durch drei Öffnungen, am Lido, bei Malamocco und Chioggia, mit dem Meere in Verbindung. Der mittlere Flutwechsel beträgt bei Venedig 0,6 m, erhebt sich bei Springflut auf 0,8 bis 1,4 m und noch höhere Werte.

Zur Erhaltung des Rauminhalts der Lagune sind die sinkstoffführenden Flüsse Piave, Sele, Brenta und Bacchiglione verlegt und unmittelbar ins Meer geleitet worden. Ferner sind schon seit alten Zeiten Schutzbauten zur Erhaltung der Nehrung und zur Verhinderung der Entstehung weiterer Öffnungen ausgeführt worden. Von den drei Öffnungen hatte die mittlere bei Malamocco in früherer Zeit bessere Tiefenverhältnisse gezeigt; infolgedessen wurden hier in den Jahren 1839 bis 1872 zuerst Arbeiten zur Verbesserung und Erhaltung der Einfahrttiefe vorgenommen, die in der Herstellung zweier gleichlaufender, etwas schräg gegen das Ufer gerichteter Leitdämme in 431 m gegenseitigem Abstand bestanden (Abb. 206). Von diesen besitzt der längere

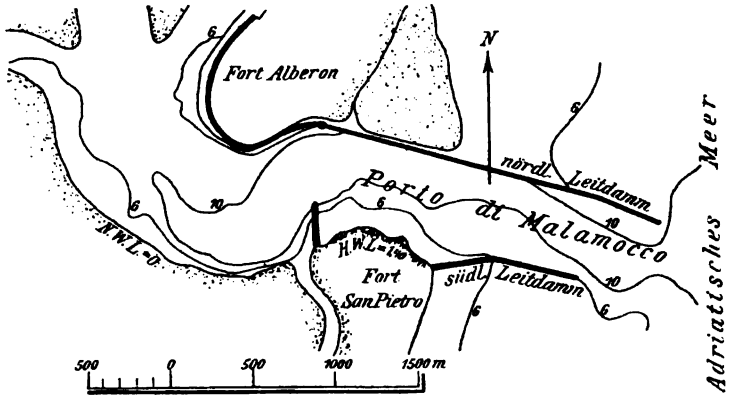


Abb. 206. Porto di Malamocco, Beispiel für Leitdämme an Lagunenmündung mit Flut und Ebbe.

nördliche, bis in eine Tiefe von 8,8 m unter Niedrigwasser vorgeschobene Damm eine Länge von 2122 m und der kürzere südliche eine solche von 956 m. Der durch diese Maßnahmen erzielte Erfolg übertraf die geplante Tiefe von 8,12 m, indem Tiefen von 10 bis 15 m unter gewöhnlichem Hochwasser mit einer geringsten Tiefe von 9,5 m entstanden. Die mittlere Geschwindigkeit des Ebbestroms schwankt dabei zwischen 0,38 m/Sek. bei Nippfluten und 0,85 m/Sek. bei Springfluten. Zur Verbindung der so ausgebauten Einfahrt, des Porto di Malamocco, mit dem Hafen von Venedig wurde durch Baggerungen eine der vorhandenen, von Süden nach Norden führenden Rinnen vertieft. Im Laufe der Zeit werden die günstigen Verhältnisse durch die von dem südlich gerichteten Küstenstrom an dem nördlichen Leitdamm sich ablagernden Sandmengen, die den Kopf des Dammes umwandern werden, sich verschlechtern, so daß eine Verlängerung zunächst des südlichen Dammes oder später beider Dämme in Frage kommen wird.

Die kostspielige Erhaltung des langen Zufahrtkanals nach Venedig führte im Jahre 1882 dazu, die unmittelbar vor Venedig liegende, aus drei Armen (Porto di Tre Porti, Porto di S. Erasmo und Porto di Lido) bestehende Öffnung in ähnlicher Weise auszubauen. Zu dem Zweck wurden nach Abb. 207 zwei von den Ufern der Öffnung ausgehende, sich allmählich auf 900 m Entfernung nähernde und im letzten Teile parallele Leitdämme von 3635 bezw. 3155 m Länge mit gleich gutem Erfolge wie in Malamocco angelegt. In der Einfahrt

sind heute Tiefen von 7 bis 10 m, wo früher nur 3 bis 4 m waren. Eine längere Beobachtungszeit liegt noch nicht vor, da noch vor wenigen Jahren an dem Ausbau der Dämme gearbeitet wurde.

Weitere Beispiele aus dem Tidegebiet zeigt Vernon-Harcourt[1]) an dem alten Hafen von Poole in Dorsetshire an der Südküste Englands und an dem in Natal an der Südostküste von Afrika belegenen Hafen von Durban.

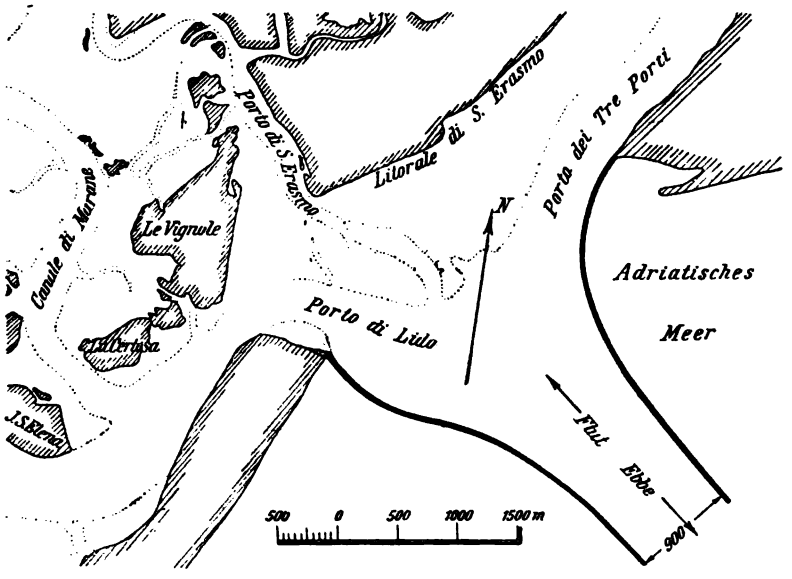


Abb. 207. Porto di Lido, Beispiel für Leitdämme an Lagunenmündung mit Flut und Ebbe.

An der deutschen Ostseeküste bieten die Häfen von Swinemünde, Pillau und Memel lehrreiche Beispiele für den Ausbau von Haffmündungen in einem Binnenmeere.

Die Swinemündung bildet den Hauptabfluß des Stettiner Haffs, in das die Oder ihre Wassermassen ergießt. Westlich davon bilden die Peene und östlich davon die Dievenow zwei weitere, jedoch weniger bedeutende Abflüsse; zwischen den drei Armen liegt westlich die Insel Usedom und östlich die Insel Wollin. Durch die abstillende Wirkung des Haffs und anderer seenartiger Erweiterungen des unteren Oderlaufes gelangt nur sinkstofffreies Wasser in der Swinemündung zum Abfluß. Der Verlauf der alten Swine zwischen den beiden Inseln war ein stark gewundener und für größere Schiffe recht unbequem; infolgedessen wurde im Jahre 1880 aus diesem Grunde und um der Swinemündung mehr Wasser zuzuführen, eine Begradigung und Verkürzung des Laufes um rd. 9 km durch die Herstellung der Kaiserfahrt bei Caseburg bewirkt. An der Ostseemündung der Swine herrschen westliche Winde und ein östlicher, sandführender Küstenstrom vor, die heftigsten Winde kommen dagegen aus dem nordöstlichen Viertel. Letztere Winde verursachen bei Swinemünde starke Schwankungen

[1]) Vernon-Harcourt, Bericht zum XI. Internationalen Schiffahrtskongreß in St. Petersburg 1908.

des Wasserspiegels, die sich bis zu 2,29 m über Mittelwasser erheben (vergl. S. 173) und die höchsten Anschwellungen der Oder oberhalb des Haffs übertreffen. Bei solchen Gelegenheiten entsteht ein starker Einstrom, dem nach dem Abflauen des Windes und dem Abfallen des Wassers ein ebensolcher Ausstrom entspricht; beide erreichen bis zu 2,4 m/Sek. Geschwindigkeit. Es liegen somit für die Offenhaltung dieser Haffmündung günstige natürliche Verhältnisse vor, die nur durch die starke Sandführung der Küste beeinträchtigt werden. Diese Verhältnisse machten die Swinemündung von alters her zum Mündungshafen von Stettin.

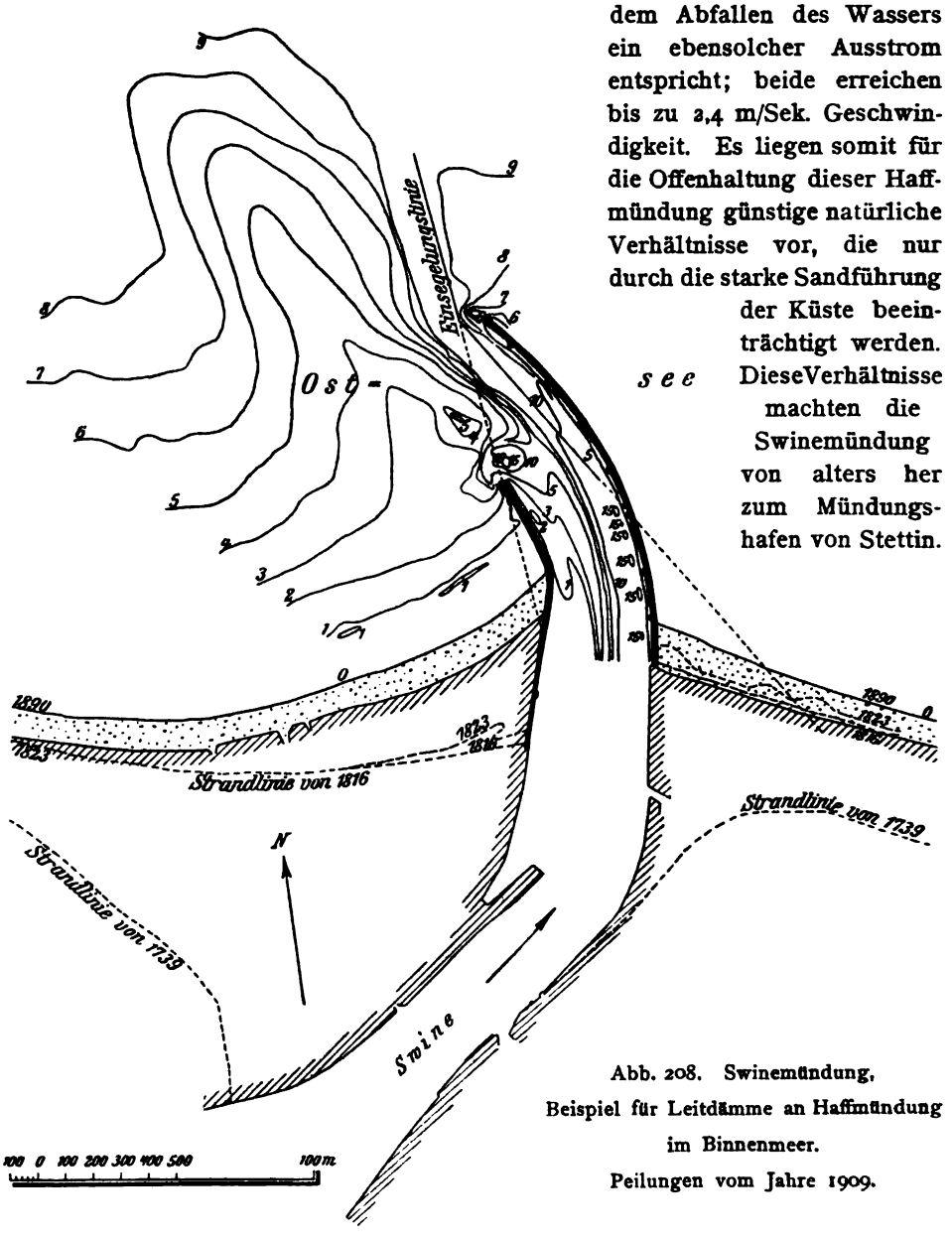


Abb. 208. Swinemündung, Beispiel für Leitdämme an Haffmündung im Binnenmeer. Peilungen vom Jahre 1909.

Doch infolge des Vordringens der Wandersände von Westen her und des Eindringens von Sandmassen bei eingehendem Strom, die bis in das Haff gelangten, verflachte sich die Einfahrt, die schon seit dem Anfang des 18. Jahrhunderts durch kurze, nach und nach verlängerte Werke festgelegt wurde, mehr

und mehr, so daß im Anfang des 19. Jahrhunderts nur Tiefen von wenig über 2 m verblieben. Zur Beseitigung dieser Übelstände wurden in den Jahren 1818 bis 1828 zwei rd. 350 m voneinander entfernte, nach Westen konkav gekrümmte Leitdämme von 1000 bezw. 1340 m Länge angelegt, von denen der letztere bis in eine Tiefe von 5,5 m geführt wurde (Abb. 208). Der Erfolg erfüllte die Erwartungen, obgleich die Anordnung weder den allgemeinen Regeln entspricht, noch sonst nachahmenswert ist. Die Krümmung der Molen geschah wie bei Kolbergermünde, Stolpmünde und Rügenwaldermünde, um dem ausgehenden Strom eine sichere Führung zu geben, und die Wahl der Richtung und die Verlängerung des östlichen Leitdammes um 425 über den westlichen Molenkopf hinaus sollten der Einfahrt Schutz gegen die heftigen, nordöstlichen Stürme gewähren. Beide Zwecke wurden erreicht; es entstand dabei eine Anordnung nach Abb. 191, die dem Küstenstrom und den mit ihm wandernden Sanden einen offenen Trichter darbietet. Hierdurch und die gegen den Strom gekrümmte Form der Leitdämme entstanden zunächst in dem westlichen Winkel starke Sandablagerungen (vergl. Abb. 208), die bald den Kopf umwanderten und an der Binnenseite des Dammes eine große Sandbank, die Joachimsfläche, bildeten, die das Fahrwasser auf mehr als ein Drittel einschränkte. Allerdings erreichte damit der an den gekrümmten Ostdamm zusammengedrängte Strom große Tiefen, die sich bis zu 20 m steigerten und den Bestand des Dammes bedrohten, so daß zu Durchbauungen derselben geschritten werden mußte.

In der Verlängerung der Westmole hat sich gleichfalls eine Sandbank vorgeschoben, die den Ostmolenkopf weit überragt (vergl. Abb. 208). Im ganzen aber ist im Laufe der Zeit ein befriedigender Gleichgewichtszustand unter Zuhilfenahme von Baggerungen eingetreten, der Schiffen von 7 m Tiefgang das Einlaufen gestattet. Eine gleiche Tiefe ist durch Verbesserungen des Fahrwassers bis Stettin vorhanden. Empfehlenswerter wäre es bei der ganzen Anlage aus den schon mehrfach erörterten Gründen vielleicht gewesen, die Dämme konvex gegen den Küstenstrom zu krümmen, ihre Krümmung weniger stark zu wählen und die Dämme annähernd gleich lang zu machen. Auch geradlinige, mit dem Küstenstrom geneigte Dämme wären am Platze gewesen. Die starke Krümmung ist langen Schiffen unbequem und macht eine Verlängerung der Dämme fast unmöglich; die ungleiche Länge bewirkt eine zu frühe Ausbreitung des Spülstroms und macht, daß der leeseitige Ostdamm bei den herrschenden Winden der Schiffahrt hinderlich ist.

Wie stark im übrigen durch die im Laufe der letzten Jahrhunderte an der Mündung ausgeführten Bauten die Küste vorgerückt ist, zeigen die auf Abb. 208 wiedergegebenen Linien. Die Anlagen der Hafenbauverwaltung, die Plantage, die Anlagen des Bades und die neueren Befestigungen zu beiden Seiten der Swinemündung liegen auf jungem und jüngstem, in den letzten Jahrhunderten entstandenem Boden.

Das Pillauer Tief bildet den einzigen Abfluß des 870 qkm großen Frischen Haffs, in das sich ein Hauptarm der Weichsel, die Nogat, der Elbingfluß, der Pregel und andere kleinere Gewässer ergießen.

Mit der Festlegung und Verbesserung des Fahrwassers in dem Pillauer Seetief, das durch die abfließenden Binnengewässer offengehalten und besonders

nach starkem Aufstau des Haffs durch Stürme und durch Hochwasser der Flüsse durch den ausgehenden Strom geräumt wurde, wurde, wie in Swinemünde, schon im 17. Jahrhundert begonnen. Aber erst im 19. Jahrhundert wurden planmäßig zwei etwas über 1000 m lange Leitdämme zur Festlegung des Seetiefs und Zusammenfassung des Spülstroms angelegt, deren Bau nach und nach ausgeführt wurde und im Jahre 1889 den heutigen Umfang annahm (Abb. 209 u. 152). Der Abstand der Dämme, hier Norder- und Südermole genannt, ist auf rd. 440 m bemessen, an den Köpfen beträgt er 361,6 m.[1])

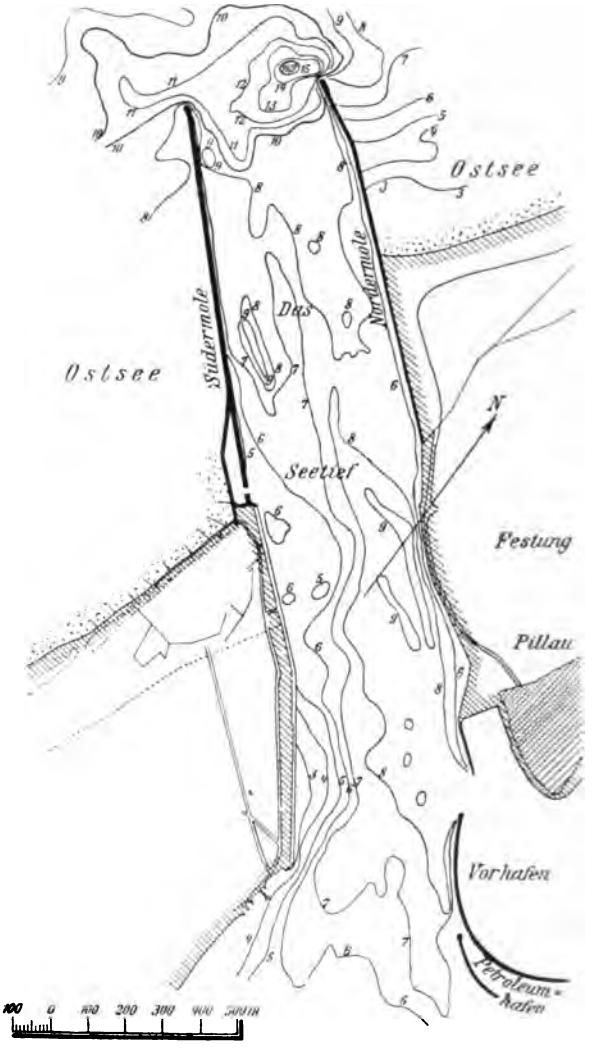


Abb. 209. Das Pillauer Tief, Beispiel für Leitdämme an Haffmündung im Binnenmeer, Peilungen vom Mai 1910.

Durch die Anlage der Leitdämme wurde die Tiefe in der Hafeneinfahrt nach und nach erheblich verbessert; von anfänglich wenig mehr als 3 m war sie bis zum Jahre 1855 unter Zuhilfenahme von Baggerungen auf 4,5 m gebracht worden und in dem gleichen Jahre durch das bereits auf S. 190 erwähnte Weichselhochwasser unerwartet auf 7,5 m gesteigert. Wenn sich diese Tiefe auch nicht dauernd erhielt, wozu der teilweise Abschluß der Nogat im Jahre 1853 mit beigetragen hat, und besonders durch den bei starken Nordweststürmen mit den Wellen eindringenden Sand verringert wurde, so ist es doch in neuerer Zeit durch regelmäßige Baggerungen gelungen, eine für die Schiffahrt erwünschte Tiefe von 8 m zu erhalten.

Im allgemeinen kann die hier getroffene Anordnung der Leitdämme als glücklich bezeichnet werden. Die zum Strande mit dem Küstenstrom geneigte Lage der Südermole hat insofern günstig gewirkt, als die ursprünglich ein-

[1]) Zeitschrift für Bauwesen 1879, S. 125, Bl. 16; 1882, S. 281; 1883, S. 249, Bl. 43; 1884, S. 156; 1886, S. 527; 1894, S. 75, Bl. 21.

getretene Vorwanderung des Strandes aufgehört und sich in ein Abbröckeln verwandelt hat, so daß eine Reihe von Buhnen zum Schutze des Ufers angeordnet werden mußte. Durch die nordwestliche Richtung der Leitdämme ist die Einfahrt ferner gegen die starken Oststürme geschützt, aber gegen die hier eine bedeutende Streichlänge erreichenden Nordweststürme offen. Die geringe Krümmung der Nordermole bewirkt eine ausreichende Führung des Spülstroms, um ihn stets auf einen bestimmten Punkt der äußeren Barre zu richten. Auf letzterer sind ebenfalls von Zeit zu Zeit Baggerungen nötig, um ein genügend tiefes Seegatt zu erhalten.

Schon einmal wurde, wie bereits erwähnt, durch teilweisen Abschluß der Nogat die von der Weichsel in das Frische Haff und in das Pillauer Tief fließende Wassermenge erheblich verringert; in einigen Jahren wird dieser Zufluß ganz aufhören, wenn der jetzt beschlossene, völlige Nogatabschluß zur Ausführung gelangt sein wird. Zur Spülung des Tiefs bleiben dann in der Hauptsache nur noch die nach auflandigen Winden ausgehenden Wassermengen zur Verfügung; für die durch den Fortfall des Weichselwassers fortfallende Spülkraft soll durch vermehrte Baggerungen Ersatz geschaffen werden.

Das Memeler Tief ist, soweit verbürgte Nachrichten zurückreichen, stets der einzige Abfluß des Kurischen Haffs nach der Ostsee gewesen. Von diesem Haff werden die Mündungsarme des Memelflusses und mehrere kleinere Wasserläufe aufgenommen. Die Breite des Tiefs beträgt 380 m und die Wassertiefe meist 6 m, nur auf der davorliegenden Barre waren zeitweilig geringere, bis auf 3 m herabgehende Tiefen.

Die ersten größeren Arbeiten zur Festlegung der Ufer des Tiefs und zur Zusammenfassung des Spülstroms begannen im Jahre 1834 mit der Herstellung eines Uferdeckwerks von 940 m Länge und eines Leitdammes von 460 m Länge, hier Nordermole genannt auf dem nördlichen Ufer. In zwei Abschnitten folgte dann eine Verlängerung des Dammes bis zum Jahre 1844 um 263 m und bis zum Jahre 1858 um 487 m, so daß die Nordermole eine Länge von 1210 m erreichte. Gleichzeitig wurde gleichlaufend dazu auf der Nehrungsseite ein südlicher Leitdamm, die Südermole, in den Jahren 1847 bis 1861 hergestellt, der 940 m Länge erhielt, mit seinem Kopfe aber um 700 m gegen den der Nordermole zurückblieb. Durch diese Molen wurde erreicht, daß in dem Seegatt sich meist eine Tiefe von 5,5 bis 6 m erhielt; wenn auch nach starken westlichen und südwestlichen Stürmen durch die von dem Küstenstrom herbeigeführten Sandmassen zeitweise Verflachungen eintraten, zu deren Beseitigung die Arbeit eines Dampfbaggers erforderlich war, da eine genügend starke Auswässerung nicht zu allen Zeiten vorhanden ist. Übelstände ergaben sich aber besonders dann, wenn durch heftige Winde plötzliche Verflachungen eingetreten waren, kein starker ausgehender Strom eintrat und die Bagger wegen des Seeganges nicht auf der Barre arbeiten konnten; auch herrschte im Hafen infolge der beinahe 800 m großen Entfernung der Molenköpfe eine starke, oft schädlich empfundene Gaiung. In den Jahren 1900 bis 1903 wurde daher eine weitere Verlängerung der Südermole um 445 m vorgenommen, um die ausgehende Strömung noch mehr zusammenzuhalten und sicherer auf eine bestimmte Stelle der Barre zu leiten. Ursprünglich war die Verlänge-

rung auf 625 m bis zur Höhe des Nordermolenkopfes geplant, bei der Bauausführung stellte sich doch der gewünschte Erfolg schon ein, als die Verlängerung auf 445 m vorgenommen war. Infolgedessen wurden die Arbeiten abgebrochen. Ein Blick auf Abb. 210 lehrt, daß hier durch die stark mit dem

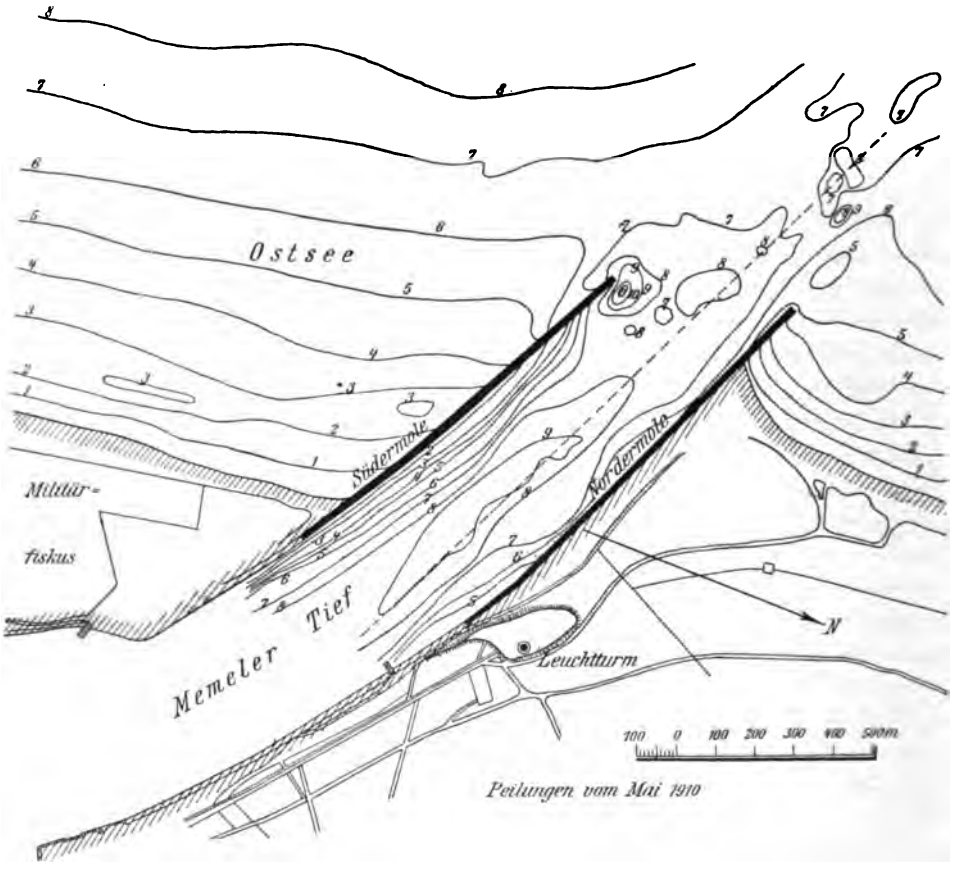


Abb. 210. Das Memeler Tief, Beispiel für Leitdämme an Haffmündung im Binnenmeer, Peilungen vom Jahre 1910.

Küstenstrom geneigte Lage der Südermole günstige Verhältnisse erzielt wurden, weil dadurch der bei heftigen Winden aus S und SW entstehende starke Küstenstrom allmählich in die Richtung des Spülstroms abgelenkt wird und mit diesem gemeinsam auf die Verringerung der Barre einwirkt, wie dies schon mehrfach hervorgehoben wurde. Mit der Aufmauerung des Oberbaues der Mole wurde im Jahre 1909 begonnen; sie soll im Jahre 1913 beendet sein.

Die Beispiele von Swinemünde, Pillau und Memel zeigen, daß auch an den Ausflüssen der Haffe an Binnenmeeren durch Leitdämme ausreichende Wassertiefen erhalten werden können, wenn die Haffe groß genug sind, so daß starke ausgehende Ströme entstehen oder große Ströme in sie münden, und endlich, wenn nach eingetretenen Verflachungen im Seegatt regelmäßig Baggerungen vorgenommen werden, zu denen, da es darauf ankommt, bei mäßigem

Seegang noch zu arbeiten, ausschließlich selbstladende Saugebagger gebraucht werden können.

Zum Schlusse dieses Abschnitts sollen auch die hierauf bezüglichen Beschlüsse des XI. internationalen Schiffahrtskongresses in St. Petersburg wiedergegeben werden. Diese lauten zu der Frage der Häfen an sandigen Küsten:

„1. Die Zufahrt zu einem Hafen an einer Lagune, die in ein Meer mit Ebbe und Flut mündet, kann mittels paralleler Molen, die an der Hauptzugangsrinne zur Lagune angelegt sind, aufrecht erhalten werden.

Die Ebbe- und Flutwirkung genügt bisweilen, um die nötige Tiefe auf der Barre, die sich gewöhnlich am Ende der Molen bildet, zu erhalten; es muß aber zu Baggerungen als weiteres Hilfsmittel gegriffen werden.

Es ist wichtig, die Kraft der Gezeitenströmung in der Hafeneinfahrt zu verstärken, indem man das von der Lagune gebildete Wasserbecken vergrößert und die Nebenarme der Lagune schließt.

2. Abgesehen von dem im vorigen Absatz berücksichtigten Fall, kann die nötige Tiefe nur durch Baggerung erhalten werden.

3. Die parallelen Molen ergeben keine Reeden und bieten keinen besonderen Vorteil für die Aufrechterhaltung der erforderlichen Tiefen. Ihre Anwendung empfiehlt sich daher nur in dem im ersten Absatz erwähnten Fall."

Vergleicht man die unter 2 und 3 gefaßten Beschlüsse, so kann man sich des Eindrucks nicht erwehren, daß die z. B. bei Pillau und Memel mit parallelen Leitdämmen erreichten Erfolge, wenn sie auch eine spätere Verlängerung der Dämme nicht ausschließen und die regelmäßige Zuhilfenahme von Baggerungen bedingen, zu ungünstig beurteilt worden sind.

c. Häfen an der Mündung von Entwässerungskanälen ohne natürliche Spülung. Eine letzte Art von Häfen an Sandküsten in Gebieten mit starker Ebbe und Flut sind endlich diejenigen, die an dem Ausfluß unter Hochwasser liegender Niederungen oder an der Mündung von Entwässerungskanälen entstanden sind. An diesen Stellen hielten sich Durchbrechungen des Strandes durch die regelmäßig ausgehende Ebbeströmung offen und führten zur Anlage von Häfen. Im Laufe der Zeit aber verlandeten die Niederungen mehr und mehr oder wurden durch Deiche der Überflutung entzogen oder durch Schleusen in Dockhäfen verwandelt, so daß die Flut immer geringere Räume erfüllte und die natürliche Spülung aufhörte. Gleichzeitig wuchsen die Anforderungen an die Tiefe der Hafeneinfahrten. So lagen die Verhältnisse bei einer ganzen Reihe von französischen Häfen an der Ostseite des Kanals wie Le Havre, Calais, Dünkirchen, Boulogne, Ostende u. a. Zur Verbesserung der Tiefen in den Einfahrtkanälen wurde vorwiegend in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts die künstliche Spülung und die Einfassung der Mündung durch Leitdämme zur Zusammenfassung des Spülstroms angewandt.

Die künstliche Spülung bestand darin, daß in geeignet gelegenen und hergerichteten, der Flut zugänglichen Flächen oder verschließbaren Hafenbecken das Hochwasser zurückgehalten und das aufgestaute Wasser bei Niedrigwasser durch den Hafenkanal plötzlich abgelassen wurde. Die Voraussetzung

für die Anwendung dieses Mittels ist ein bedeutender Flutwechsel. Trotz aller feinsinnigen Anordnungen konnten die künstlichen Spülungen aber nie die früheren, natürlichen erreichen. Es ließ sich wohl, solange die Ufermauern und Leitdämme das Wasser zusammenhielten, eine gewisse Wirkung erzielen, diese nahm aber sofort ab, sowie das Wasser vor den Köpfen der Dämme sich ausbreiten konnte, so daß der Hauptzweck, die Verhinderung und Beseitigung der durch die Wandersände entstehenden Versandungen, verfehlt wurde. Man verlängerte nach und nach die Hafendämme, um den Spülstrom stärker auf die Barre wirken zu lassen, erzielte aber damit nur vorübergehende Erfolge, da der Strand ebenfalls vorrückte und die alten Übelstände wieder eintraten. Schließlich mußte man auch damit aufhören, da die Einfahrtkanäle die Länge von über 2 km erreichten, z. B. in Dünkirchen (vergl. Abb. 211), und bei ihrer geringen Breite für große Schiffe schwer zu durchfahren waren.

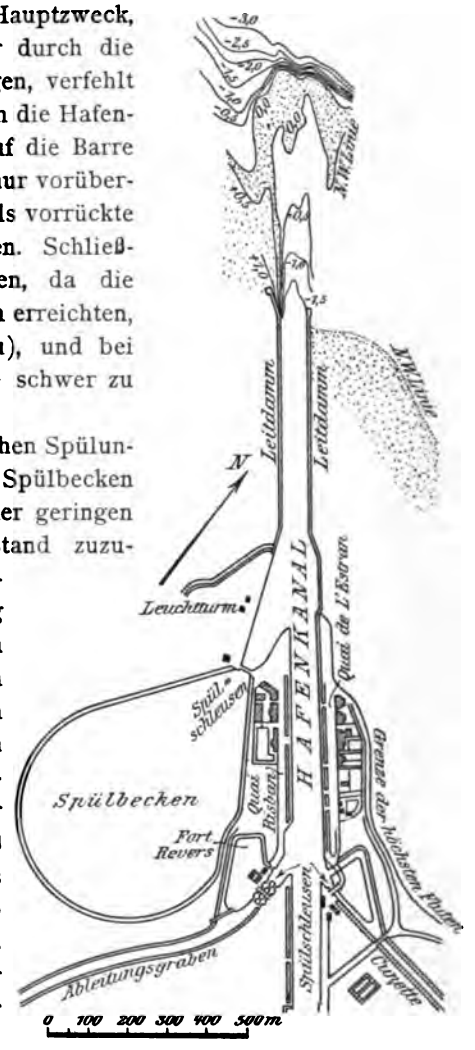


Abb. 211. Älterer Plan des Hafens von Dünkirchen aus dem Jahre 1877, Beispiel für künstliche Spülung im Meer mit Flut und Ebbe.

Der ungünstige Erfolg der künstichen Spülungen, trotzdem Flächen bis zu 60 ha zu Spülbecken ausgebaut wurden, ist hauptsächlich der geringen Dauer der Spülung und dem Umstand zuzuschreiben, daß zur Bewegung fest abgelagerten Sandes, wie die Erfahrung lehrte, mittlere Wassergeschwindigkeiten von 1,8 m/Sek. und bei Schlick von 0,7 m/Sek. erforderlich waren, zu deren Erzeugung in größeren Querschnitten ganz gewaltige Wassermassen nötig gewesen wären. Die gerin e Dauer der Spülungen erklärt sich daraus, daß die Ausströmungsgeschwindigkeit des Wassers aus den Spülbecken um so größer ist, je grö.er die Druckhöhe ist, sie ist also am günstigsten zur Zeit der Springtiden; außerdem ist dann der Hafenkanal am niedrigsten angefüllt, so daß die geringste Wassermenge in Bewegung zu setzen ist und außerdem der wasserführende Querschnitt am kleinsten und die Wassergeschwindigkeit am größten ist. Infolgedessen wurde z. B. in Dünkirchen, das hier als Beispiel herangezogen sei, mit 5,45 m Flutwechsel bei Springtiden und 3,20 m bei tauben Tiden die Spülung auf 5 bis 6 Tage während der Springtiden beschränkt.

An diesen Tagen wurden die Tore der Spülschleusen 10 Minuten vor Niedrigwa‹ser geöffnet. Wie Beobachtungen ergaben, dauerte dann die wirklich räumende Wirkung auf der Barre nur 15 bis 20 Minuten.

Durch diese kurze Schilderung wird es leicht, einzusehen, warum das Verfahren der künstlichen Spülung allmählich in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts aufgegeben wurde. Hierzu trugen wesentlich die in neuerer Zeit an die Häfen gestellten größeren Anforderungen bei; wo früher 7 m Wassertiefe bei Hochwasser oder halber Tide als ausreichend angesehen wurden, werden heute 9 m und mehr bei Niedrigwasser verlangt. Man fand bald, daß mit den allmählich immer vollkommener werdenden Dampfbaggern billiger mehr zu erreichen war, oder daß wie in Boulogne (Abb. 10) oder in Le Havre (Abb. 46) der Bau neuer Vorhäfen vorteilhafter war.

Aus diesen Gründen kann die Anordnung der Hafenaußenwerke bei Häfen mit künstlicher Spülung sehr kurz behandelt werden, da neue Ausführungen kaum noch vorkommen werden und die für die Anlage der bei dem Umbau dieser Häfen erforderlichen Molen in Betracht kommenden Gesichtspunkte mit den früher behandelten an der freien Küste übereinstimmen.

Wie aus der kurzen Schilderung der Einrichtungen und des Vorgangs der künstlichen Spülung hervorgeht, kann der Zweck der Spülung, die Zusammenfassung des Spülstroms, um ihn auf eine bestimmte Stelle der Barre zu leiten, am besten nur durch parallele Leitdämme erreicht werden

Ihre Richtung wird zweckmäßig nicht in die der herrschenden Winde gelegt, damit die aus offener See kommenden Wellen, die den Hafenkanal ungehindert durchlaufen würden, nicht in den Hafen eintreten und ferner die mit dem Winde einsegelnden Schiffe nicht zu viel Fahrt machen. Mit Rücksicht auf Segelschiffe wird eine Abweichung von 100 bis 110° von der Richtung der herrschenden Winde empfehlenswert sein, da dann auch ausgehende Schiffe günstige Verhältnisse finden. In neuerer Zeit hat man allerdings weniger auf Segelschiffe Rücksicht zu nehmen und kann die Gesichtspunkte, den Vorhafen möglichst zu schützen, und auf kurzem Wege große Tiefen zu erreichen, mehr in den Vordergrund stellen. Für die Länge der Dämme ist im allgemeinen die Breite des Strandes maßgebend gewesen, da größere Längen ein Vorrücken der Küste und des Strandes bewirkten.

Die Entfernung der Dämme ist am schwersten zu bestimmen, da sie von mehreren zum Teil widersprechenden Umständen abhängt. Die Bedürfnisse des Schutzes und die Zusammenfassung des Spülstroms führen zu möglichst geringen Werten, während die Größe der Schiffe und des Verkehrs zu bedeutend größeren führen kann. Während früher Weiten von 40 bis 75 m ausreichend erschienen, sind heute 100 m meist zu wenig.

Bisweilen ist den Dämmen, wie z. B. in Boulogne (Abb. 10), eine leichte Krümmung gegeben worden, um die Einfahrt gegen Seegang mehr zu schützen; man muß aber dann beachten, daß zwischen der Krümmung der Dämme, der Entfernung der Dämme und der Länge der Schiffe ein bestimmtes Verhältnis bestehen muß, um die Einfahrt sicher und bequem zu gestalten, und daß ferner noch später eine Verlängerung der Leitdämme möglich ist.

An einigen Stellen, wie z. B. in Ostende, erweitern sich die Leitdämme, so daß die Schiffahrt allerdings sehr erleichtert wird; es ist das aber nur empfehlenswert, wenn die Einfahrt wie in Ostende unter Schutz liegt oder

andere Mittel zur Beruhigung der einlaufenden Wellen angewandt werden. Außerdem wird dadurch die Wirkung der Spülung stark vermindert.

Als Beispiel für einen Hafen, in dem früher künstliche Spülung angewendet wurde, sei hier derjenige von Dünkirchen durch Abb. 211 dargestellt, wie er bis 1877 aussah und deutlich die Anordnung der Spülbecken und des Hafenkanals und auch die vor der Mündung liegende Barre erkennen läßt. Seitdem man die künstliche Spülung durch Baggerung ersetzt hat, sind an Stelle des alten Spülbeckens neue Dockbecken entstanden und werden große Erweiterungen geplant, bei denen ein geräumiger, durch schräg aufeinander zulaufende Molen gebildeter Vorhafen zur Ausführung kommen soll.

Auch Le Havre (Abb. 46) hatte früher Leitdämme und künstliche Spülung und ist in neuerer Zeit durch Molen mit einem neuen Vorhafen versehen worden.

Bereits mehrfach ist darauf hingewiesen worden, daß parallele Leitdämme den Übelstand besitzen, die einlaufenden Wellen ungeschwächt fortzupflanzen, so daß im Hafen selbst schädliche Wellenbewegungen entstehen. Zur Abhilfe ist in einigen Häfen das Mittel sogenannter wellenbrechender Böschungen angewandt worden, das darin besteht, daß an geeigneten Stellen des Hafenkanals beckenartige Erweiterungen mit ansteigender, befestigter Sohle angeordnet wurden, in denen die Wellen an Höhe und Kraft verlieren. Auf die Ausbildung dieser Anordnung wird später näher eingegangen werden; hier sei nur darauf hingewiesen, daß darin ein Mittel gefunden ist, um den Nachteil kurzer, den Seegang eintreten lassender Leitdämme oder von Verengungen mit ihrer wellenerhöhenden Wirkung auszugleichen.

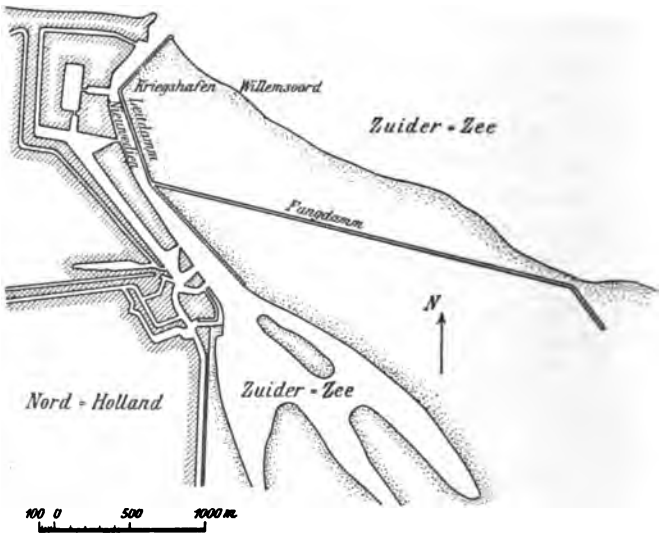


Abb. 212. Hafen von Nieuwediep, Beispiel für künstliche Spülung durch Leitdämme im Tidegebiet.

Zum Schlusse dieses Kapitels sei noch des Hafens von Nieuwediep gedacht als eines Hafens, bei dem durch geschickte Anordnung eines Leitdammes ein Teil der bei Flut in die Zuidersee eintretenden Wassermassen gezwungen wird, die Hafeneinfahrt zu spülen, da eine derartige Anordnung auch an anderen Stellen, wo ausgedehnte Wattflächen zur Verfügung stehen, anwendbar ist und auch zur Ausführung gekommen ist.

Da für das am Y gelegene Amsterdam nur ein 3 m tiefer Zugang nach der Zuidersee bestand, der für die Kriegsflotte unzureichend war, richtete sich die Aufmerksamkeit der holländischen Regierung schon 1780 auf die Errichtung

eines neuen Hafens am Helder, der am Marsdiep gelegenen Spitze Nordhollands (Abb. 58, S. 125), wo zwischen dem Festlande und der Insel Texel durch den Ebbestrom stets große Tiefen bis zu 30 m erhalten wurden. Östlich vom Helder liegen ausgedehnte Wattflächen, die nach dem Marsdiep und einem am Festlande sich entlangziehenden Priel entwässern. Nach dem Vorschlage einer Kommission wurde nun an dieser Stelle in 140 m Entfernung von dem westlichen Ufer ein 1130 m langer Leitdamm errichtet, der, dem Ufer folgend, in seinem nördlichen Teile die Richtung NO und im südlichen SSO verfolgte. An das Ende des Leitdammes schloß sich ein 2260 m langer Fangdamm in östlicher Richtung an, der die Aufgabe hatte, das bei Ebbe nach dem Marsdiep abfließende Wasser durch den neuen Hafen zu führen. Später wurde der Fangdamm auf 3375 m und der Leitdamm auf 2000 m verlängert und ersterer bis 2,3 m über Hochwasser und letzterer bis auf 0,3 m darüber erhöht.

Der Erfolg war ein geradezu glänzender, indem Tiefen von 10 m und mehr sich herstellten und erhielten; begünstigt wurde er durch die eigenartigen Flutverhältnisse am Helder. Dort tritt bereits Ebbe ein, während im östlichen Teil der Zuidersee noch überall Flut herrscht, so daß das Gefälle nach dem Helder hin besonders groß ist und das Wasser zwingt, den Weg nach dem Nieuwediep einzuschlagen. Der Erfolg ist um so bemerkenswerter, als die Flutgröße am Helder nur 1,3 m beträgt.

Eine ähnliche Anordnung ist durch einen rd. 1150 m langen Leitdamm auf dem Schweinsrücken im Jadebusen getroffen worden, um die Jade vor den Einfahrten zu dem Kriegshafen von Wilhelmshaven zu spülen. Auf Abb. 15, S. 28 ist das nördliche Ende des Dammes zu erkennen.

d. Durchbrochene Leitdämme. Mit wenigen Worten sei hier noch der Anordnung der selten angewandten, durchbrochenen Leitdämme gedacht. Es sind dies Dämme, deren unterer Teil bis zur Niedrigwasserhöhe oder etwas darüber geschlossen ausgeführt wurde, deren oberer Teil aber aus einem durchlässigen Holz- oder Eisenwerk bestand.

Der ihrer Anwendung zugrunde liegende Gedanke besteht darin, daß es dem Küstenstrom möglich sein soll, durch die Leitdämme hindurchzugehen, um die Aufhöhung und das Vorrücken des Strandes zu verhüten.

Bei Seegang und Strömung werden dann die an der Küste entlang getriebenen Sandmassen durch die Öffnungen in dem luvseitigen Leitdamm in den Mündungsschlauch eintreten und sich an seiner Innenseite ablagern. Ist nun der ausgehende Strom, im Tidegebiet besonders der Ebbestrom, stark genug, diese Sandmassen anzugreifen und aufzunehmen, so werden die eingedrungenen Sandteile immer wieder fortgeräumt, und der Zweck der Anordnung ist erreicht.

Es ist ferner auch möglich, daß ein Teil der Geschiebe durch die Öffnungen des leeseitigen Leitdammes fortgeführt wird. Infolgedessen gelangt nur der durch den ausgehenden Strom mitgeführte Teil des Sandes auf die Barre, also weniger als bei geschlossenen Dämmen.

Eine derartige Anordnung setzt aber, wie leicht zu erkennen ist, das Vorhandensein eines regelmäßigen starken Ausstromes voraus, da sonst die seitlich eindringenden Sandmassen leicht den Hafenschlauch versperren. Zu

beachten ist ferner, daß hinter den durchbrochenen Leitdämmen eine sehr unruhige Wasserfläche entstehen wird.

Als Beispiel für die vorbeschriebene Anordnung durchbrochener Leitdämme ist die Adourmündung, die Einfahrt zu dem Hafen von Bayonne, zu erwähnen.[1])

Kapitel IX.

Anordnung, Gestalt und Abmessungen der Hafenbecken.

I. **Anordnung der Hafenbecken.** a) Offene Hafenbecken. — b) Geschlossene Hafenbecken, Dockbecken oder Docks. — c) Halbtidebecken. — d) Anordnung der Hafenbecken für verschiedene Zwecke.

II. **Gestalt der Hafenbecken.** Dreieck, — Rhombus, — Quadrat, — Rechteck, — zusammengesetzte Formen.

III. **Abmessungen der Hafenbecken.** Länge. — Breite. — Wendeplätze. — Tiefe. — Größe der Hafenbecken. — Breite der Hafenzungen.

I. Anordnung der Hafenbecken.

Wenn es auch schwierig ist, für die Anordnung und Gestalt der Hafenbecken bestimmte Regeln aufzustellen, da die örtlichen Verhältnisse fast in jedem einzelnen Hafen andere sind und es sich selten um reine Neuanlagen, sondern meist nur um Erweiterungen handelt, wo die bereits vorhandene Bebauung und Benutzung des Geländes bestimmenden Einfluß ausübt, so lassen sich doch eine Reihe von Gesichtspunkten zusammenstellen, die bei der Planung von Hafenanlagen Beachtung verdienen und wichtige Fingerzeige geben.

Da ferner in den Kapiteln II, III und IV bereits die allgemeinen und besonderen Erfordernisse der verschiedenen Hafenarten und einzelner Teile, wie der Reeden, der Vorhäfen usw. behandelt wurden (vergl. besonders Kap. II, S. 10 bis 25), so sollen in den nachstehenden Ausführungen nur die eigentlichen Hafenbecken bezüglich ihrer Anordnung und Gestalt besprochen werden.

In den Hafenbecken kommt die Aufgabe der Häfen den Schiffen die größtmögliche Sicherheit einerseits und die größte Bequemlichkeit für das Lösch- und Ladegeschäft anderseits zu geben in höchstem Maße zum Ausdruck. Es ist leicht einzusehen, daß beide Zwecke am meisten in einem geschlossenen, strömungslosen Hafenbecken mit gleichbleibendem Wasserstand (vergl. S. 22) und bei der Lage des Schiffes am Ufer erfüllt werden.

Da die örtlichen Verhältnisse aber nicht immer die Erlangung eines solchen idealen Zustandes gestatten, muß in den meisten Fällen ein mittlerer Weg beschritten werden, der unter den gegebenen Umständen zu der jeweilig besten Lösung führt, wobei der eine oder der andere Übelstand mit in Kauf genommen werden muß.

a) Offene Hafenbecken. Bei einer Anzahl von Häfen an Flüssen und an Meeresküsten sind keine besonderen Hafenbecken vorhanden und nur die

[1]) Vergl. Voisin-Bey, Die Seehäfen Frankreichs, S. 108.

Ufer für die Hafenzwecke ausgebaut. In dieser Form gestalten sich die Hafenanlagen am einfachsten. Der Forderung des Schutzes wird in den Flüssen meist durch die genügende Entfernung des Hafens von der See entsprochen, an der Küste wird die nötige Ruhe des Wasserspiegels durch Molen oder Wellenbrecher hergestellt. In beiden Fällen müssen als Übelstand die Schwankungen des Wasserstandes und in dem einen Falle außerdem die Beunruhigung durch die Strömung und in dem anderen durch den Wellenschlag in Kauf genommen werden. Diese Nachteile werden weniger empfunden, wenn die Schiffe im Flusse oder vor der Küste an Dalben oder Bojen festmachen, da sie dann den Bewegungen des Wassers leichter folgen können, während sie sonst am Ufer auf und nieder scheuern. Eine sichere Befestigung ist aber nur am Ufer möglich, ebenso wie dort die größte Bequemlichkeit für das Löschen und Laden zu finden ist. Wo aber der Umschlag von Seeschiff zu Binnenschiff eine große Rolle spielt, bietet die Ausstattung des Flusses mit Dalben oder Festmachetonnen große Vorteile, indem dieser Verkehr keine weitere Einrichtungen beansprucht und die Ufer für andere Zwecke freiläßt. Ein Beispiel für derartige Verhältnisse und die Befestigung an Dalben bietet der aus dem Elbstrom bestehende Teil des Hamburger Hafens (S. 86 und Abb. 37) und an Bojen der Lauf der neuen Maas im Hafen von Rotterdam (S. 92 und Abb. 38).

Bei dem Ausbau einer Uferlinie für Hafenzwecke ist die Gestaltung des Grundrisses und des Querschnittes zu beachten. Für den ersteren ist die gerade Linie die beste Form, da die Schiffe dann in ganzer Länge am Ufer liegen können; sind Krümmungen nicht zu vermeiden, so müssen sie einen so großen Halbmesser erhalten, daß der Abstand des Schiffes vom Ufer in der Mitte nicht unangenehm groß wird. Da dieser der Pfeilhöhe eines Bogens von der Länge des Schiffes entspricht, besteht also ein bestimmtes Verhältnis zwischen der Schiffslänge und dem kleinsten zulässigen Krümmungshalbmesser (Abb. 213). Bezeichnet man die Schiffslänge mit L, den Halbmesser mit R und die Pfeilhöhe des Bogens von der Länge l mit a, so ist

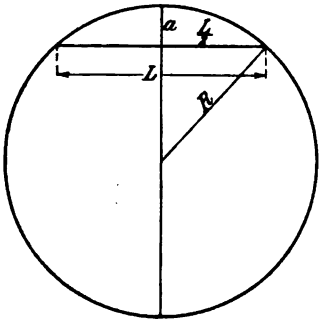


Abb. 213.

$$\frac{L^2}{4} = a \cdot (2R - a),$$

woraus folgt:

$$R = \frac{1}{2}\left(\frac{L^2}{4a} + a\right)$$

oder genügend genau:

$$R = \frac{L^2}{8a}.$$

Betrachtet man nun beispielsweise einen Abstand von $a = 1$ m als zulässig, so ergibt sich für

Schiffe von 100 m Länge $R = \frac{10\,000}{8} = 1\,250$ m

„ „ 200 „ „ $R = \frac{40\,000}{8} = 5\,000$ „

An den 5500 m langen Schaldekai (Abb. 39, S. 95) beträgt der Krümmungshalbmesser rd. 4500; dort ist demnach, da $a = R \mp \sqrt{R^2 - \frac{L^2}{4}}$,

für Schiffe von 100 m Länge $a = 0{,}38$ m

„ „ „ 200 „ „ $a = 1{,}03$ „

An dem neu geplanten 8700 m langen Kai ist $R = 9500$, so daß $a = 0{,}13$ bezw. 0,53 m wird. An der Innenseite der Mole von Zeebrügge (Abb. 40 auf S. 98) ist der Halbmesser nur zu rd. 1600 m bemessen; dort wird der Abstand der Schiffe in der Mitte schon

$$a = 0{,}78 \text{ bezw. } 3{,}13 \text{ m},$$

erreicht mithin eine recht bedeutende Größe.

Wo daher große Halbmesser nicht möglich sind, würde eine Knickung der Kailinie vorzuziehen sein. Hierbei ist aber wieder zu beachten, daß die einzelnen Knicke durch lange gerade Strecken verbunden sein müssen, damit die Strecke zwischen zwei Eckpunkten durch die verschiedensten Zusammenstellungen von Schiffslängen ausgenutzt werden können. Sind z. B. die einzelnen Geraden nur für eine bestimmte Schiffslänge bemessen, so finden größere überhaupt an solcher Stelle keinen guten Liegeplatz und füllen etwas kleinere ihn nicht genügend aus.

Es bleibt daher für den Ausbau eines Ufers die gerade oder nur wenig gekrümmte Linie die beste Grundrißform.

In bezug auf den Querschnitt ist die senkrechte Begrenzung des Ufers für die heutigen Schiffsformen die günstigste, da sie durch einfache Anordnungen die Berührung der Schiffe mit der Ufereinfassung zu verhindern gestattet. Sie hat ferner den Vorzug, daß die Landverkehrswege unmittelbar an das Schiff herangebracht werden können; bei geböschten Uferbegrenzungen ist der Abstand größer und die Sicherung der Schiffe gegen Berührungen mit der Böschung und ihre Befestigung umständlicher. Allerdings verursacht die senkrechte Uferbegrenzung, sei es nun durch Ufermauern oder durch Bollwerke, die höchsten Ausgaben. Einen Mittelweg bilden die über ein geböschtes Ufer bis zur Sohlenlinie vorgeschobenen Landungsbrücken in ganzer Länge des Ufers oder nur in kurzen Stücken, über die im zweiten Bande des Werkes Näheres enthalten ist.

Ein besonderer Vorzug der Entwicklung von Hafenanlagen am Ufer entlang ist noch der, daß dabei der Grunderwerb sehr gering ausfällt; am geringsten an der Küste, wenn durch Hinausrücken der Kailinie die für den Hafen erforderlichen Landflächen dem Meere abgewonnen werden, weniger gering bei Flüssen, wo die vorhandene Uferlinie in den meisten Fällen wenig verändert werden darf.

Seehäfen, in denen ein großer Teil der Hafenanlage aus ausgebauten Flußufern besteht, sind, außer den schon erwähnten, Stettin, Abb. 29 auf S. 63; Danzig, Abb. 30 auf S. 66; Königsberg, Abb. 31 auf S. 69; Lübeck, Abb. 32 auf S. 70; Rotterdam, Abb. 38 auf S. 93.

Anderseits ist die Ausnutzung der Uferfront bei geradlinigem Ausbau eine sehr ungünstige, da im wesentlichen nur eine Reihe von Schiffen von der Lage am Ufer Vorteil hat. Die Anlagen werden, wenn sie von einer großen Schiffszahl benutzt werden sollen, sehr lang ausgedehnt. Dieser Umstand hat an Flüssen

weniger Bedeutung, fällt aber an den Küsten sehr ins Gewicht, wenn das Ufer durch teure Werke, wie Molen und Wellenbrecher, geschützt werden muß.

In solchen Fällen kann die Benutzung des einmal vorhandenen Ufers durch den Bau von Hafenzungen, auch Landungsbrücken, Molen, Piers genannt, bedeutend vergrößert werden. Wenn beispielsweise an einer 200 m langen Uferstrecke, wie Abb. 214 zeigt, zwei Hafenzungen von je 40 m Breite angelegt werden, so finden an derselben Uferlänge, die bisher nur ein 200 m langes Schiff benutzen konnte, vier solche Platz. Gleichzeitig wird die Lage der Schiffe erheblich geschützter als bisher.

An Flüssen wird aber eine derartige Ausbildung der Ufer nur bei sehr breiten Strömen und auch da nur im Mündungsgebiet wegen der damit verbundenen Querschnittsverkleinerung zulässig sein.

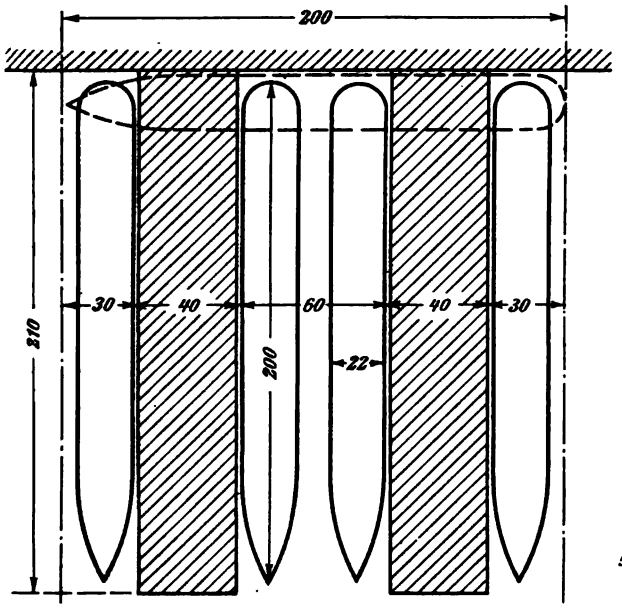


Abb. 214. Schematische Darstellung der Vermehrung der Kailänge durch Anlage von Hafenzungen.

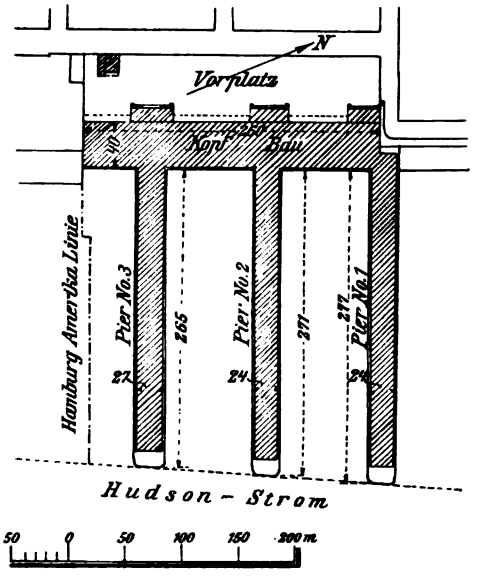


Abb. 215. Pieranlage des Norddeutschen Lloyd in Hoboken, Beispiel für kurze Hafenzungen.

Ein hervorragendes Beispiel für die Anlage von Hafenzungen an einem Flusse bietet der Hafen von New York, der fast ausschließlich daraus besteht, wie Abb. 50 u. 51 auf S. 116 u. 117 im Überblick zeigen. Die Uferlinien erhalten dabei eine kammartige Kennzeichnung. Im einzelnen kann man aus der in Hoboken befindlichen Anlage des Norddeutschen Lloyd ersehen (Abb. 215), wie erschöpfend eine zur Verfügung stehende Uferlänge durch Anlage von Hafenzungen ausgenutzt werden kann. An dem 260 m langen Ufer, an dem ein großes oder zwei kleinere Schiffe festmachen konnten, ist durch die Anlage von drei Hafenzungen Platz für den gleichzeitigen Aufenthalt von fünf großen oder zehn kleineren Schiffen geschaffen worden. Weitere Beispiele bietet der durch Abb. 216 dargestellte Umbau einer Pieranlage in dem Stadtteil Chelsea in New York, City.[1])

[1]) Engin. News vom 14. Januar 1909, S. 29.

Häufiger als an Flüssen wird von dem Bau von Hafenzungen in den Küstenhäfen Gebrauch gemacht. Während im ersteren Falle die Hafenzungen jedoch meist nur für eine, seltener für zwei oder mehr Schiffslängen eingerichtet und eng aneinandergerückt wurden, haben sie im letzteren Falle größere Abmessungen und Entfernungen erhalten.

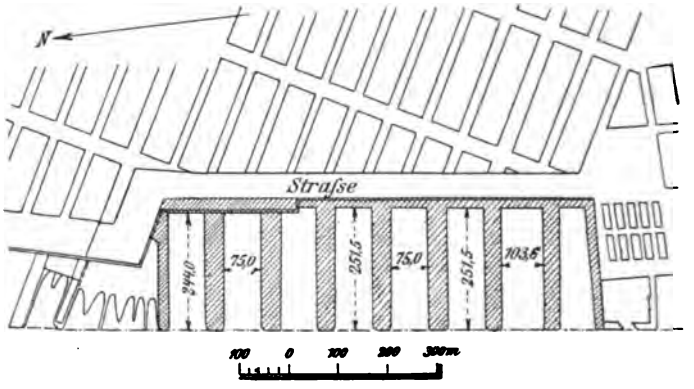


Abb. 216. Chelsea-Pieranlage in New York, City, Beispiel für Hafenzungen.

Wird die Anordnung z. B. nach Abb. 217 getroffen, so können auf der 580 m langen Uferstrecke, an der sonst nur zwei 200 m lange und ein kleineres Schiff Platz finden konnten, sechs 200 m lange Schiffe oder eine größere Anzahl kleinerer untergebracht werden.

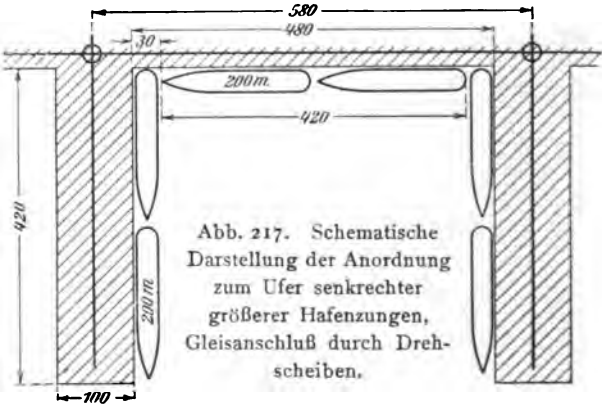


Abb. 217. Schematische Darstellung der Anordnung zum Ufer senkrechter größerer Hafenzungen, Gleisanschluß durch Drehscheiben.

Bei einem derartigen Ausbau einer Küste verschwindet mehr die oben erwähnte Kammform, und es entstehen durch die einzelnen Hafenzungen abgeteilte, geräumige Hafenbecken, die für die Schiffe gegenüber einem einfachen Ufer erheblich mehr Schutz gewähren.

Gute Beispiele für diese Anordnungen bilden die Häfen von Genua (Abb. 48 auf S. 112), Triest (Abb. 49 auf S. 114) und Marseille (Abb. 47 auf S. 109). Bei den drei Beispielen steigert sich die Abgeschlossenheit der zwischen den Hafenzungen liegenden Becken in der Reihenfolge, in der sie erwähnt sind. In Genua sind die Becken nach dem Vorhafen zu ganz offen, in Triest werden sie durch den Wellenbrecher etwas mehr gesondert, und in Marseille, wo einem Teil der Hafenzungen kürzere, von dem Wellenbrecher ausgehende gegenüberliegen, entstehen geschlossene Hafenbecken. Durch Anlage von beweglichen Brücken über den Durchfahrten können sowohl diese Vorsprünge als auch die Kais an der Innenseite der Wellenbrecher nutzbar gemacht werden.

Ist das Ufer nicht geradlinig, sondern gekrümmt, so kann es in Frage kommen, ob die Hafenzungen oder die Wasserflächen trapezförmig zu gestalten sind (Abb. 218). Es ist im allgemeinen empfehlenswert, wie es auch die angezogenen Beispiele zeigen, die unregelmäßige Form in die Wasserfläche

zu legen und die Hafenzungen mit gleichlaufenden Ufern zu versehen, da die Anordnung der Gleise, Gebäude usw. regelmäßiger, einfacher und übersichtlicher wird.

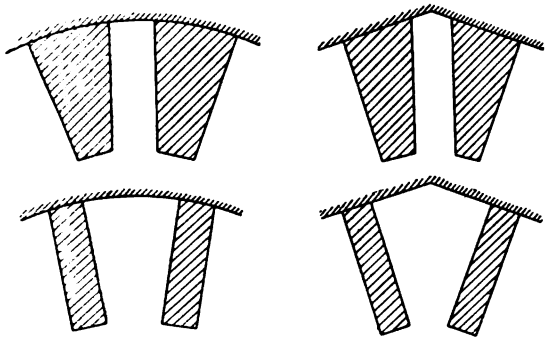


Abb. 218. Verschiedenartige Anordnung von Hafenzungen.

Ein Nachteil der zum Ufer senkrechten Hafenzungen besteht darin, daß die Zuführung der Gleise Schwierigkeiten bereitet, wenn die Hauptgleise mit dem Ufer gleichlaufend gerichtet sind; sie kann dann nur durch Drehscheiben erfolgen (Abb. 217), die nur einen langsamen Verkehr ermöglichen und daher besser vermieden werden. Zur Vermeidung dieses Übelstandes kann man die Hafenzungen schräg zum Ufer anordnen, wie es Abb. 219 zeigt und auch für den neuen Teil des Hafens von Triest (Abb. 49 auf S. 114) geplant ist. Liegen die Hauptgleise dagegen senkrecht zum Ufer, so bereitet die Gleisentwicklung für dicht aneinanderliegende Hafenzungen keine besonderen Schwierigkeiten,

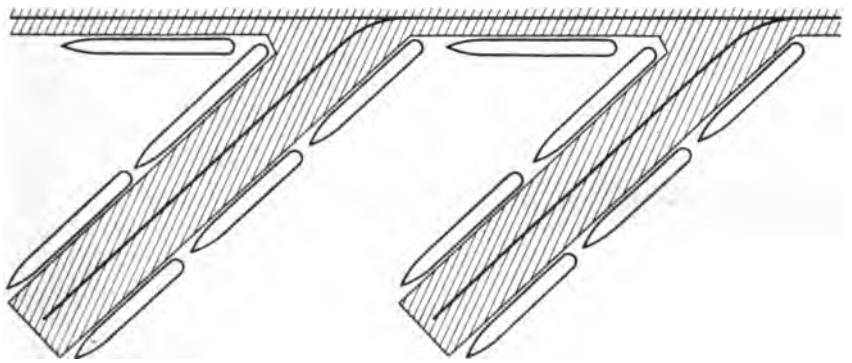


Abb. 219. Anordnung zum Ufer schräg gerichteter Hafenzungen, Gleisanschluß durch Weichen.

wie der in New Jersey belegene Teil des Hafens von New York zeigt (Abb. 50 auf S. 116). Auch Abb. 220 läßt an einer Pieranlage des Hafens von Boston[1]) eine Lösung des Gleisanschlusses mit allerdings nur 75 m-Krümmungshalbmessern erkennen.

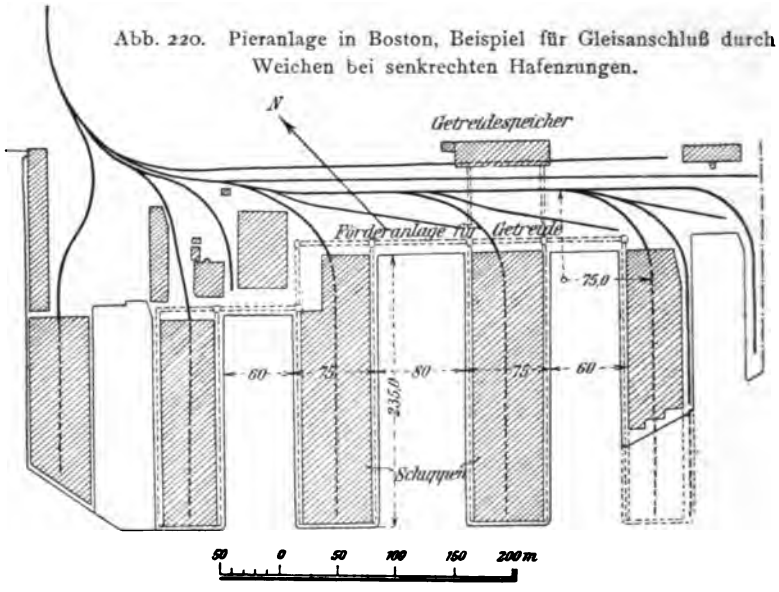
Wo die durch Hafenzungen gebildeten Hafenbecken nicht durch Wellenbrecher geschützt sind, kann der Schutz dadurch erhöht werden, daß an den Enden der Zungen noch Querzungen angelegt werden, wie es Abb. 221 darstellt. Bei weiterer Ausbildung dieser Anordnung entsteht dann eine Anlage, die das Atlantic-Becken am Buttermilk-Kanal in New York zeigt (Abb. 50 auf S. 116) und durch Abb. 222 in den Grundzügen deutlicher zu erkennen ist.

---

[1]) The Engineering Record vom 6. November 1909, S. 511.

Während auf die beschriebene Weise durch die künstliche Herstellung der Hafenzungen die Hafenbecken entstanden, kann man nun auch, und das ist

Abb. 220. Pieranlage in Boston, Beispiel für Gleisanschluß durch Weichen bei senkrechten Hafenzungen.



der häufigere Fall, durch künstliche Anlage von Hafenbecken umgekehrt die Hafenzungen entstehen lassen; in dem einen Falle legt man das Hafengelände künstlich an und benutzt die vorhandene Wasserfläche als Hafenbecken, und in dem anderen stellt man die Wasserfläche künstlich her und verwendet die vorhandenen, stehengebliebenen Geländeteile als Hafenzungen.

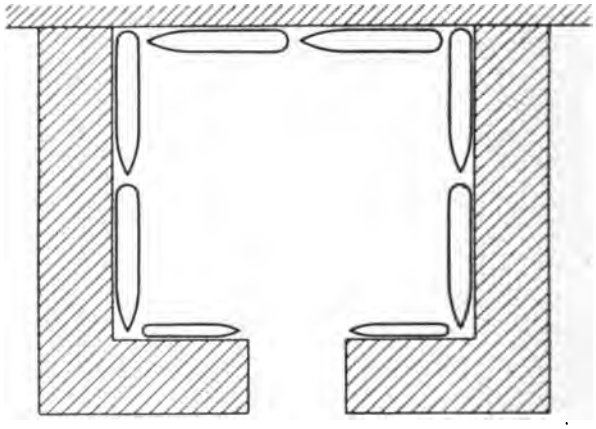


Abb. 221. Senkrechte Hafenzungen mit Querzungen.

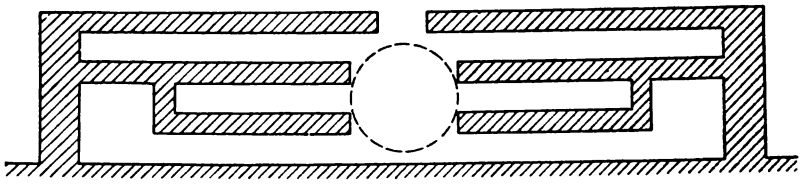


Abb. 222. Schematische Darstellung der Hafenzungen im Atlantic-Becken in New York.

Die Herstellung künstlicher, offener Hafenbecken kommt vorwiegend an Flüssen in Frage, wo durch die Größe des Hafenverkehrs bei dem Ausbau

der Ufer allein eine zu ausgedehnte, weit die Grenzen des Weichbildes überschreitende Anlage entsteht, die für den Landverkehr große Unbequemlichkeiten durch Zeitverlust, lange Gleisentwicklungen usw. im Gefolge haben würde. Durch die Anlage künstlicher Hafenbecken kann die Hafenanlage von einer beschränkten Uferstrecke aus entwickelt werden und doch großen Umfang unter erschöpfender Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Geländes erhalten.

Bei der Anordnung künstlicher Hafenbecken hängt es von der Gestalt der zur Verfügung stehenden Fläche ab, welche Richtung und Gestalt den Becken zu geben ist; der Umfang der Hafenanlage ist dafür bestimmend, ob ein oder mehrere Becken angelegt werden müssen.

Die einfachste Anordnung bildet die Anlage eines Hafenbeckens, dasselbe kann zum Ufer senkrecht oder schräg gerichtet sein (Abb. 223); ferner kann es in voller, vergrößerter oder verringerter Breite von dem Flusse, Seekanal oder der Küste abzweigen. Die schräg gerichtete Mündung der Becken erleichtert die Ein- und Ausfahrt der Schiffe, ihre Verbreiterung bewirkt das Gleiche in noch höherem Maße, während anderseits die Verengung größeren Schutz gegen Seegang gewährt. In den meisten Fällen wird die Richtung der Becken stromab geneigt gewählt werden, damit die Schiffe beim Einlaufen gegen den Strom fahren, wodurch erreicht wird, daß sie dann auch bei geringer Geschwindigkeit besser dem Steuer gehorchen.

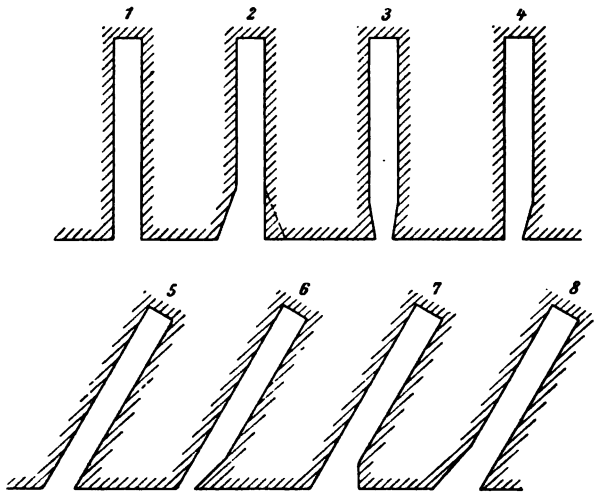


Abb. 223. Schematische Darstellung der Anordnung einzelner künstlicher Hafenbecken.

Durch die Herstellung mehrerer Becken nebeneinander kann der Hafenanlage ein beliebiger Umfang gegeben werden; zwischen den einzelnen Becken entstehen dann, wie bereits erwähnt, Hafenzungen.

Die Gestaltung der Hafenbecken kann endlich auch so gewählt werden, daß nur ein vom Ufer senkrecht oder geneigt ausgehender Zugang hergestellt und das eigentliche Becken mit einem Knick oder einer Krümmung völlig oder annähernd parallel zum Ufer angelegt wird.

Für die Richtung der Hafenbecken ist außer der Tiefe der zu benutzenden Fläche die Möglichkeit des Gleisanschlusses von Einfluß.

Als Beispiel für die Anlage eines einzelnen, mit voller Breite abzweigenden Hafenbeckens ist der sogenannte Freihafen in Neufahrwasser (Abb. 30 auf S. 66) und die Becken des Hafens von Manchester (Abb. 45 auf S. 105), für einzelne Becken mit engerer Mündung der Fischereihafen in Kolbergermünde (Abb. 21 auf S. 42), der Fischereihafen von Scheveningen (Abb. 27 auf S. 52), der Fischerei-

hafen von Ymuiden (Abb. 28 auf S. 53), für sich erweiternde Mündung die neuen Becken in Harburg (Abb. 34 auf S. 77) zu erwähnen.

Der Hafen von Manchester und von Harburg zeigen ferner die Entstehung von Hafenzungen durch Anordnung mehrerer paralleler Hafenbecken. Endlich bietet der Hafen von Hamburg (Abb. 37, S. 87) eine Reihe von Beispielen mit voller und verringerter Breite abzweigender Hafenbecken und dazwischenliegenden Hafenzungen. Als Beispiel für fast geradlinige, zum Ufer annähernd parallele Hafenbecken mit günstigem Eisenbahnanschluß sind die drei Hafenbecken in Bremen (Abb. 35 auf S. 80) zu betrachten, während ebensolche

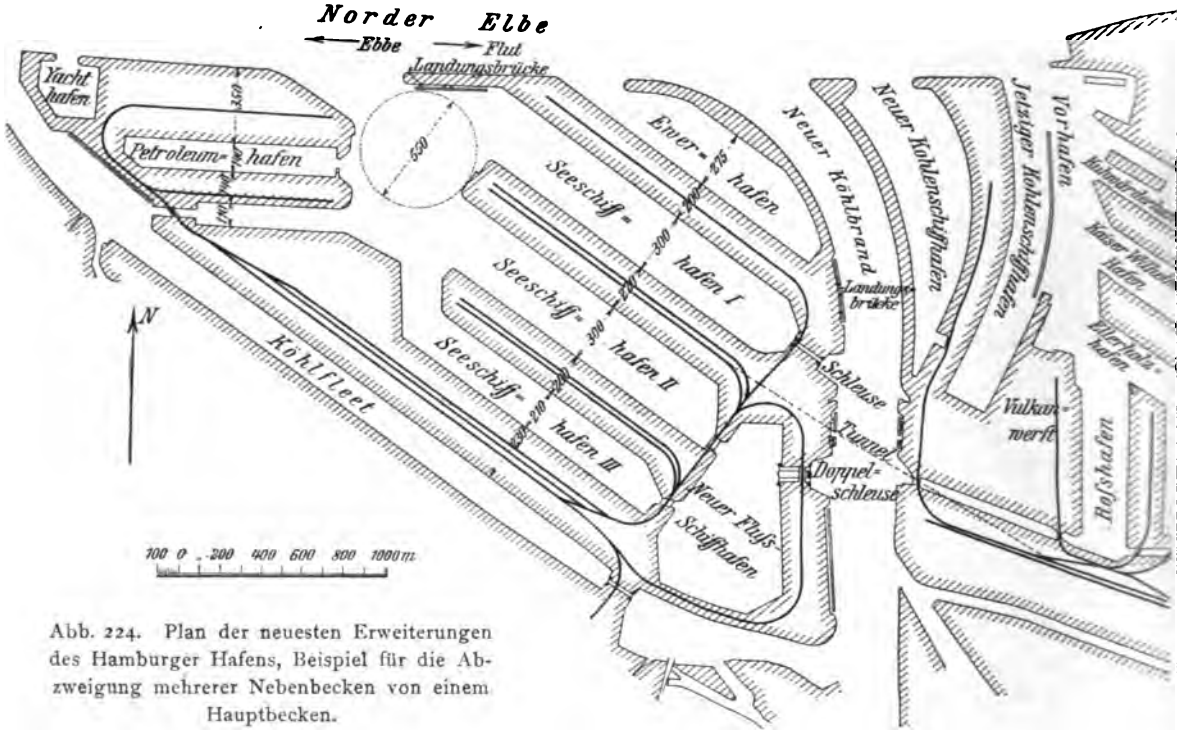


Abb. 224. Plan der neuesten Erweiterungen des Hamburger Hafens, Beispiel für die Abzweigung mehrerer Nebenbecken von einem Hauptbecken.

Hafenbecken mit einem durch einen Knick angeschlossenen Zugang durch die drei großen Becken in Rotterdam, den Rhein-, Maas- und Waalhafen (Abb. 38 auf S. 93) gekennzeichnet werden.

Eine weitere Anordnung offener Hafenbecken entsteht, wenn an einen Zugang oder ein Hauptbecken mehrere Nebenbecken angeschlossen werden; die Abzweigung kann dabei unter einem rechten oder einem spitzen Winkel erfolgen. Ein Vorteil dieser Geländeaufteilung besteht darin, daß der Schutz in den Seitenbecken noch größer wird und daß, wenn die Anordnung eines Wendeplatzes überhaupt erforderlich ist, ein solcher für mehrere Becken ausreicht, so daß an Platz und unnötiger Ufereinfassung gespart wird. Ein Beispiel hierfür ist der Freihafen von Stettin (Abb. 29 auf S. 63), ferner der Hafen von Brügge (Abb. 41 auf S. 99) und der Hafen von Hamburg in seinem neueren Teil (Abb. 37 auf S. 87), wo von einem gemeinschaftlichen Vorhafen

der Kuhwärder-, Kaiser-Wilhelm-, Ellerholz- und Roßhafen abzweigen und in den geplanten Erweiterungen (Abb. 224)

In den Häfen, wo ein starker Umschlagverkehr zwischen See- und Binnenschiffen stattfindet, muß den Bewegungen der Binnenschiffe besondere Beachtung geschenkt werden. In Hamburg sind z. B. mehrere Hafenbecken von oben her durch besondere kleine Schleusen für Binnenschiffe zugänglich gemacht worden, wie Abb. 37 und besonders Abb. 224 bei den neuesten Erweiterungen erkennen lassen. Auch in Lübeck (Abb. 32, S. 70) ist für den geplanten Freihafen die gleiche Einrichtung vorgesehen worden. Durch diese Trennung der Zugänge für die beiden Schiffsarten wird verhindert, daß sie sich gegenseitig stören, außerdem können diese Öffnungen bei entsprechender Einrichtung zur Spülung der Hafenbecken Verwendung finden. Zu dem Zwecke müßten sie mit Verschlüssen versehen werden, die auch, wie z. B. als Schiebetore, noch bei geringer durch die Schleuse gehender Strömung geschlossen werden können.

b. Geschlossene Hafenbecken. Zur Anlage geschlossener Hafenbecken (vergl. auch S. 26) führen die in den Meeren mit Ebbe und Flut an vielen Orten auftretenden starken Wasserstandsschwankungen, die sowohl die Erhaltung der Tiefe als auch das Lösch- und Ladegeschäft erschweren. Geschlossene Hafenbecken mit ihren annähernd gleichbleibenden Wasserstand entsprechen in bezug auf sichere und ruhige Lage der Schiffe und auf Bequemlichkeit den höchsten Anforderungen. Ihre Anlage empfiehlt sich dort, wo die gewöhnliche Flutgröße etwa 3,0 m überschreitet, infolgedessen hat Hamburg noch offene Becken, ebenso Rotterdam, aber Bremerhaven, Wilhelmshaven, Emden, fast alle englischen und französischen Häfen an der Nordsee und viele andere geschlossene Hafenbecken.

Bei der Anordnung geschlossener Hafenbecken sind drei Teile zu beachten, die Zufahrt, die Schleuse und das eigentliche Hafenbecken. Von der Lage und Tiefe der Zufahrt hängt der Wert des Hafens ab. Ist sie so geschützt angeordnet, daß Strömung und Seegang die Schiffe nicht hindert, sie jederzeit aufzusuchen, und besitzt sie ferner bei jedem Wasserstande ausreichende Tiefe, so ist das für den Hafen besonders vorteilhaft. Wo eine natürliche geschützte Zufahrt fehlt, wird sie zweckmäßig in Gestalt eines kleinen Vorhafens künstlich hergestellt. Diese Vorhäfen werden gewöhnlich trichterförmig gestaltet, um die Einfahrt zu erleichtern, und ferner so breit bemessen, daß sie einem oder zwei Schiffen Platz gewähren um zu warten, während die Schleuse besetzt ist, um aber auch nach dem Freiwerden der Schleuse zur Durchfahrt bei der Hand zu sein, damit diese mit geringstem Zeitverlust stattfinden kann.

Solche Vorhäfen zeigen die meisten geschlossenen Häfen, z. B. der Kriegshafen von Wilhelmshaven (Abb. 15 auf S. 28), der Hafen von Geestemünde vor der Seekammerschleuse zum Handelshafen (Abb. 24 auf S. 47), der Hafen von Emden vor der im Bau befindlichen Seekammerschleuse (Abb. 33 auf S. 74, der Hafen von Bremerhaven in guter Gestalt vor der Großen Kaiserschleuse und vor der Nordschleuse, in ungünstiger gekrümmter Form vor den älteren Einfahrten (Abb. 36 auf S. 84), der Hafen von Harburg vor der neuen Schleuse zum Verkehrshafen (Abb. 34 auf S. 77), der Hafen von Antwerpen vor der geplanten dreifachen Seekammerschleuse oben links (Abb. 39 auf

S. 95), der Hafen von Zeebrügge (Abb. 40 auf S. 98) und der Hafen von Le Havre vor der neuen Seekammerschleuse (Abb. 46 auf S. 107).

Eine von der parallelen oder trichterförmigen Form abweichende Gestalt zeigen die Vorhäfen zu den Tilburydocks unterhalb Londons (Abb. 43 auf S. 101), wo in dem Vorhafen Anlegestellen angeordnet sind, und im Hafen von Liverpool das Kanadabecken (Abb. 44 auf S. 102), das den Vorhafen für mehrere geschlossene Hafenbecken, das Kanada-, Langton- und Brocklebankdock bildet.

Für die Richtung der Vorhäfen ist, abgesehen von den Bedürfnissen des Schutzes, der Gesichtspunkt maßgebend, daß die Schiffe beim Ein- und beim Auslaufen leichte Manöver auszuführen haben und dabei möglichst gut steuern, was der Fall ist, wenn sie sich gegen die Strömung bewegen. Wo daher keine vorherrschende Strömung und kein Seegang zu beachten ist, kann die Richtung der Einfahrt beliebig so gelegt werden, daß Ein- und Ausfahrt möglichst bequem werden; sie wird also am besten dahin gerichtet, wo die Schiffe herkommen oder hingehen. Wo Ebbe und Flut entgegengesetzt gerichtete, aber gleichartige Strömungen erzeugen, wird die Richtung des Vorhafens am besten senkrecht zur Uferlinie gewählt, da dann für Ein- und Ausfahrt gleich günstige Verhältnisse entstehen; bei dem Vorherrschen einer bestimmten Strömungsrichtung, z. B. der Ebbeströmung in Flußläufen, wird auf diese am meisten Rücksicht zu nehmen sein und daher die Richtung der Vorhäfen stromab zu wählen sein. Davon abweichend sind z. B. in Bremerhaven (Abb. 36 auf S. 84) die Vorhäfen stromauf gerichtet, weil sie so bei den vorherrschenden Stürmen aus W und NW größeren Schutz und eine sichere Einfahrt darbieten.

Einen zweiten wichtigen Teil der geschlossenen Hafenbecken bilden die Einfahrtschleusen; sie bestehen, je nachdem der Hafen nur zur Zeit der Ausspiegelung der Wasserstände, also bei Hochwasser, oder jederzeit zugänglich sein soll, aus einem einzigen Schleusenhaupt und heißen dann See- oder Dockschleusen, oder aus zwei oder mehr Häuptern mit dazwischenliegenden Kammern und führen dann den Namen Seekammerschleusen. Über die Ausbildung dieser Bauwerke im einzelnen ist im zweiten Bande Näheres gegeben; hier sei nur darauf hingewiesen, daß der Hauptwert bei diesen Schleusen auf genügende Weite zu legen ist, damit bei der kurzen Zeit des Offenstehens der Tore zu Hochwasserzeiten die Schiffe möglichst schnell durchfahren können. Sind die Schleusen zu eng bemessen, so erfordert das Einstellen der Schiffe in die Schleusenachse besonders bei heftigem Seitenwind unnötigen Zeitaufwand. Die Drempeltiefe der Schleusen muß dem Tiefgang der größten Schiffe entsprechen und wird zweckmäßig im Hinblick auf die Zukunft etwas reichlicher bemessen, damit bei einer etwaigen Vertiefung des Hafens ein Umbau oder Neubau der Schleuse vermieden wird. Bei den Seekammerschleusen der Kriegshäfen spricht hierbei auch der Umstand mit, daß im Gefecht beschädigte Schiffe mit größerem als dem regelrechten Tiefgang noch durchgeschleust oder im Notfalle in der Schleuse gedockt werden müssen.

Von Wichtigkeit ist ferner bei großen Häfen und stets bei Kriegshäfen, daß nicht nur eine Schleuse den Zugang zu den geschlossenen Becken ver-

mittelt, sondern daß zwei oder mehrere Schleusen zur Verfügung stehen, damit im Falle der Beschädigung einer Schleuse nicht der gesamte Hafenverkehr unterbrochen wird. Aus diesem Grunde ist z. B. die dritte Einfahrt in Wilhelmshaven mit einer Doppelschleuse, ferner der Kaiser-Wilhelm-Kanal an seinen Enden mit Doppelschleusen versehen worden und erhält auch der Kaiserhafen in Bremerhaven durch die neue Nordschleuse und den Verbindungskanal eine zweite Einfahrt. Ferner stehen, z. B. in Liverpool und anderen Häfen, die einzelnen Hafenbecken miteinander in Verbindung, so daß jedes Hafenbecken auf verschiedenen Wegen erreicht werden kann. Ebenso sind in London die Krümmungen der Themse, z. B. bei den West India-Docks und den Royal Victoria- und Royal Albert-Docks in geschickter Weise benutzt worden, um den Hafenbeckengruppen zwei Zugangsmöglichkeiten zu geben (Abb. 42 auf S. 101).

Den wichtigsten Teil der geschlossenen Hafenbecken bilden naturgemäß die Hafenbecken selbst. Ihre Anordnung hängt in erster Linie von der zur Verfügung stehenden Geländefläche ab, für deren Gestalt als Grenzfälle einmal ein schmaler Uferstreifen mit langer Wasserfront und zweitens eine Fläche mit bedeutender Tiefe, aber schmaler Uferlinie in Betracht kommen. Die Anordnung der Hafenbecken wird ferner davon abhängen, ob es sich darum handelt, an eine bestehende Hafenanlage neue Becken anzuschließen oder ob, wie es seltener vorkommt, ein Hafen völlig neu anzulegen ist

Bei der Gruppierung der Hafenbecken spielt ferner die Frage eines Wendeplatzes (siehe auch S. 330) eine große Rolle. Es ist notwendig, daß Schiffe, wenn sie den Hafen verlassen und Strömungen, Wind und Wellen ausgesetzt sind, mit dem Bug voran hinausfahren; ebenso nötig ist dies bei der Einfahrt, infolgedessen ergibt sich die Notwendigkeit, die Schiffe im Hafen zu wenden und daraus das Bedürfnis zu dem erforderlichen Platz. Nur wenn die Schiffe im Vorhafen großen Schutz finden, können sie rückwärts durch die Schleusen gehen und erst dort umdrehen oder auch dies bei der Ankunft

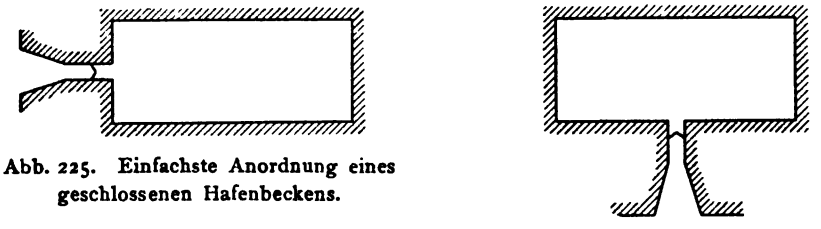


Abb. 225. Einfachste Anordnung eines geschlossenen Hafenbeckens.

schon tun und mit dem Heck voran in den Hafen eintreten, so daß sie bei der Abfahrt ohne Aufenthalt auslaufen können.

Die einfachste Anordnung eines geschlossenen Hafens entsteht, wenn ein einzelnes Hafenbecken durch eine Schleuse zugänglich gemacht wird. Da, wie späterhin noch dargetan wird, die Form eines Rechtecks für Hafenbecken besonders günstig ist, so entsteht eine Anordnung nach Abb. 225, bei der die Schleuse entweder an der langen oder an der kurzen Beckenseite liegt; für den Verkehr der Schiffe und für den Gleisanschluß ist die letztere Anordnung zweifellos am günstigsten.

Beispiele für solche Anordnung mit einer in der Längsrichtung liegenden Schleuse bilden der Handelshafen von Geestemünde (Abb. 24 auf S. 47), ferner das Avonmouth-Dock am Avon, in der Nähe des Bristol Channel (Abb. 226.)

Zur Längsachse des Hafenbeckens senkrecht angeordnete Schleusen weisen der neue Hafen und der ältere Teil des Kaiserhafens in Bremerhaven auf (Abb. 36 auf S. 84), ferner, in recht ausgesprochener Form, der Hafen von Saint-Nazaire an der Loire-Mündung (Abb. 227),

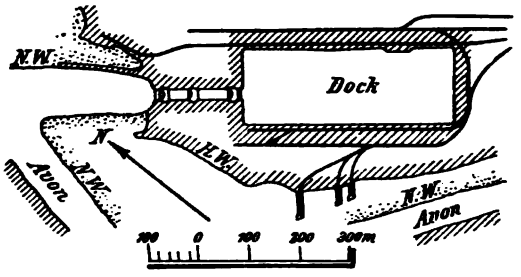


Abb. 226. Das Avonmouth-Dock, Beispiel eines einfachen Dockbeckens mit Schleuse an der kurzen Seite.

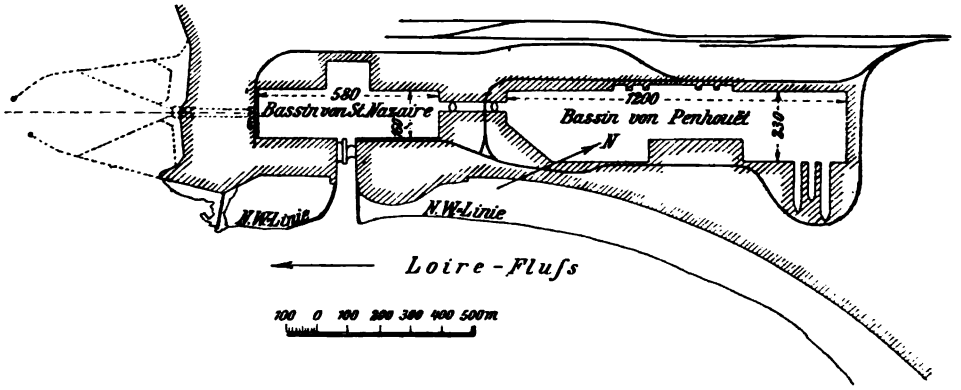


Abb. 227. Hafen von St. Nazaire, Beispiel eines einfachen Dockbeckens mit Schleuse an der langen Rechteckseite.

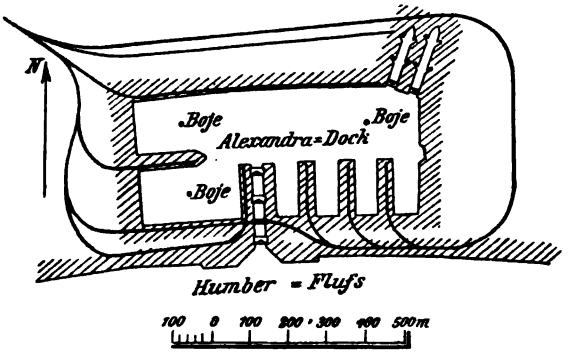


Abb. 228. Das Alexandra-Dock in Hull, Beispiel eines einfachen Dockbeckens mit Schleuse an der langen Rechteckseite.

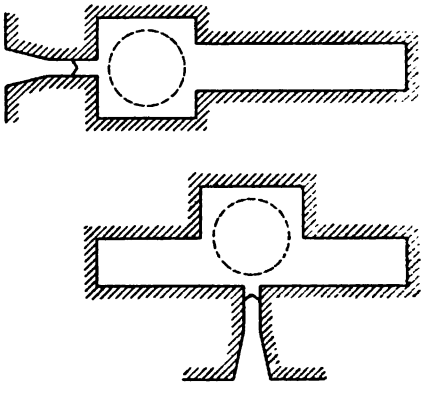


Abb. 229. Schematische Anordnung einfacher Dockbecken mit Wendeplätzen.

ferner das Alexandra-Dock in Hull (Abb. 228), das Alexandra-Dock in Newport am Usk u. a.

Da in diesen Becken besondere Wendeplätze nicht vorgesehen sind, haben sie eine so große Breite erhalten, daß die Schiffe an jeder Stelle gedreht

werden können. Es ist leicht erkennbar, daß auf diese Weise die künstlich hergestellte Wasserfläche nicht genügend ausgenutzt wird. Günstiger ist es jedenfalls, die Becken schmaler anzuordnen und besondere Wendeplätze am Eingang vorzusehen, wie es schematisch durch Abb. 229 erläutert wird und in Saint-Nazaire (Abb. 227), in Emden bei dem im Bau befindlichen neuen Hafenbecken (Abb. 33 auf S. 74) und in Le Havre an dem Bassin de L'Eure ersichtlich ist.

In anderer Weise kann die Wasserfläche eines zum Wenden genügend breiten Beckens durch Anordnung von Hafenzungen vollkommener ausgenutzt werden (Abb. 230). Es zerfällt dann das ursprüngliche Hafenbecken in ein

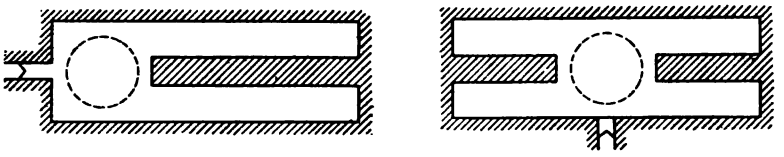


Abb. 230. Hafenzungen in einfachen Dockbecken.

den Wendeplatz enthaltendes Hauptbecken und in eine Anzahl von Nebenbecken, und man kommt auf diese Weise zu einer Gruppierung der Hafenbecken, die nicht, wie geschildert dadurch entsteht, daß man von einem großen Becken ausgeht und dieses durch Hafenzungen zerlegt, sondern daurch, daß man unmittelbar hinter der Schleuse ein Hauptbecken oder einen Wendeplatz vorsieht und von diesem aus eine Anzahl von schmaleren Nebenbecken entwickelt. Auf diese Weise wird der Forderung nach einem Wendeplatz genügt und doch der dadurch entstehende Verlust an nutzbarer Hafenfläche am wenigsten fühlbar, da der Platz zu mehreren Hafenbecken gehört und daher von sehr vielen Schiffen benutzt wird. Gleichzeitig erfährt auch die Schleuse eine günstige Ausnutzung.

Je nachdem nun zwei oder drei oder noch mehr Nebenbecken von dem Wendeplatz abgezweigt werden, entstehen die Anordnungen der schematisch dargestellten Abb. 231, die in neueren Hafenanlagen heute vorherrschen,

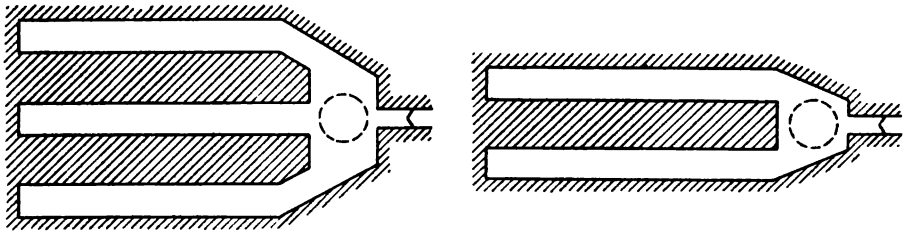


Abb. 231. Anordnung von Hafenbeckengruppen bei gerader Abzweigung.

während die breiten Beckenformen mehr und mehr zurücktreten. Werden ferner bei dieser Anordnung die Nebenbecken nicht senkrecht zum Hauptbecken, sondern geneigt angeordnet, so ergibt sich die durch Abb. 232 dargestellte Form, die für den Eisenbahnanschluß der Kaiflächen besonders günstig ist.

Diese Gruppierung, bei der Wasser- und Landflächen gewissermaßen fingerförmig ineinandergreifen, bringt See- und Landverkehr in die innigste Berührung bei günstigster Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Geländes und ist daher als beste Lösung zu bezeichnen. Beachtet muß aber hierbei werden, daß an eine Schleuse nicht beliebig viele Nebenbecken angeschlossen werden können, da wegen der kurzen Öffnungszeit nur eine bestimmte Anzahl von Schiffen während eines Hochwassers hindurchfahren können. Es muß die Anzahl und Größe der Hafenbecken zu der Zahl der Einfahrtschleusen in einem gewissen Verhältnis stehen und bei einer Vermehrung der Hafenbecken auch an eine Vermehrung der Schleusen gedacht werden. Beispiele für die Entwicklung senkrecht vom Hauptbecken abzweigender Nebenbecken bieten die Tilburydocks (Abb. 43 auf S. 101), ferner in Liverpool das Kanadadock mit einem Nebenbecken, das Huskissondock mit drei Nebenbecken (Abb. 44 auf S. 101) dar, während die drei kleinen Hafenbecken in Emden (Abb. 33 auf S. 74), ebenso die Becken des Hafens von Manchester (Abb. 45 auf S. 103), die auch hierher gerechnet werden können, Beispiele für eine zum Hauptbecken geneigte Richtung der Nebenbecken darstellen. Wie sehr die Entwicklung mehrerer Nebenbecken aus einem Hauptbecken den heutigen Anschauungen entspricht, lassen die zur Zeit in Angriff genommenen großen Hafenerweiterungen in Bremerhaven, Emden, Antwerpen und Hamburg (Abb. 224 auf S. 330) erkennen. In Bremerhaven (Abb. 36 auf S. 84) wird beabsichtigt, aus dem neueren Teil des Kaiserhafens zwei weitere langgestreckte Becken zu entwickeln und später an die im Bau begriffenen Nordschleuse deren drei anzuschließen. In besonders geschickter Weise zeigt der für die Erweiterung des Emdener Hafens in Aussicht genommene Erweiterungsplan (Abb. 233) eine gute Ausnutzung einer zur Verfügung stehenden Landfläche unter Zugrundelegung des oben entwickelten Gedankens. Derselbe beherrscht ferner die in Angriff genommene Erweiterung der Hafenanlagen in Antwerpen (Abb. 39 auf S. 95), wo von einem langgestreckten Hauptbecken im ganzen neun Seitenbecken in einer für den Eisenbahnanschluß günstigen Lage nach und nach ausgebaut werden sollen. Die zunächst in Angriff genommenen südlichen Becken sind vorerst

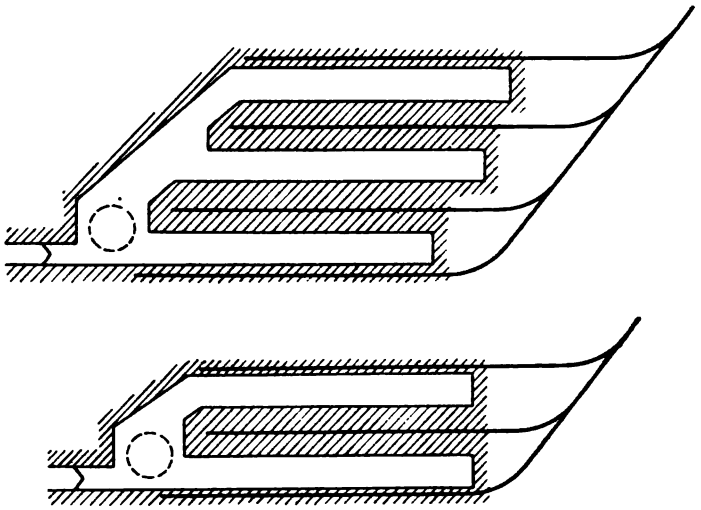


Abb. 232. Anordnung der Hafenbeckengruppen bei schräger Abzweigung.

durch eine nach dem Becken Lefèvre führende Schleuse zugänglich, sollen aber später durch eine dreifache Schleuse vom Nordende des Hafens aus erreicht werden können.

Ein letztes, für den Eisenbahnanschluß aber nicht besonders günstiges Beispiel stellen die für den Hafen von Zeebrügge geplanten drei Hafenbecken dar (Abb. 40 auf S. 98), von denen zunächst das südlichste zur Ausführung gelangt ist.

Aus den letzten Beispielen ist ferner ersichtlich, daß auch die Anordnung eines Hauptbeckens mit mehreren Nebenbecken besonders die Aufgabe erfüllt,

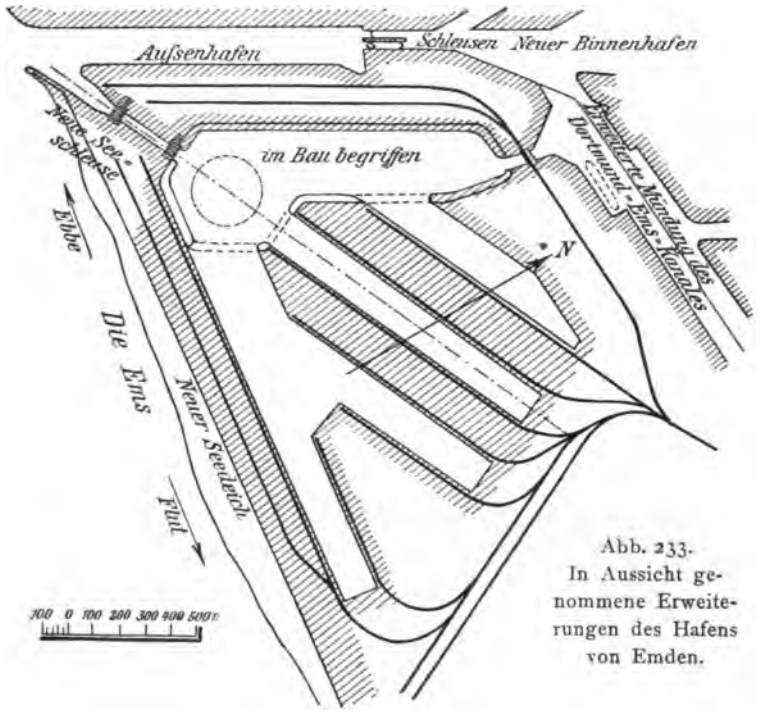


Abb. 233.
In Aussicht genommene Erweiterungen des Hafens von Emden.

einen Hafen nach und nach einem einheitlichen Plan entsprechend auszubauen. Ist einmal der Vorhafen, die Schleuse und der Wendeplatz geschaffen, so kann zu jeder Zeit und an jeder Stelle ohne Störung des Hafenverkehrs weiter gebaut werden.

Aus den vorstehenden Ausführungen sind die Elemente zu erkennen, durch deren Zusammensetzung größere Hafenanlagen entstanden sind und heute erweitert werden. Je nach den örtlichen Verhältnissen und den Zwecken des Hafenverkehrs werden gleichartige oder verschieden gestaltete Becken aneinandergereiht. Im allgemeinen ist man aber heute bestrebt, durch Anordnung gleichartiger Beckenformen die Regelmäßigkeit und Übersichtlichkeit der Hafenanlage zu erhöhen. Dies tritt besonders deutlich hervor, wenn man z. B. die regellose Anordnung der älteren Londoner Docks (Abb. 42 auf S. 100 links) vergleicht mit den neueren West und East India-, den Royal Victoria-, den Royal Albert- auf der rechten Seite der Abbildung und den Tilburydocks

(Abb. 43 auf S. 101) oder mit den in Antwerpen, Bremerhaven, Hamburg, Emden usw. geplanten Erweiterungen. Eine wenig regelmäßige Anordnung zeigen auch die zahlreichen Liverpooler Docks, von denen Abb. 44 auf S. 102 einen Teil darstellt; Einzelbecken wechseln ab mit gegliederten Becken; zu beachten ist aber, daß alle Becken durch Schleusen miteinander in Verbindung stehen, so daß die Schiffe innerhalb des geschlossenen Hafens verkehren können, ohne in den Fluß hinaus zu müssen.

Eine sehr regelmäßige, durch Aneinanderreihen von vier rechteckigen Hafenbecken entstandene geschlossene Hafenanlage zeigt der Hafen von Buenos Aires (Abb. 234); an den Enden der Beckenreihe angeordnete Schleusen

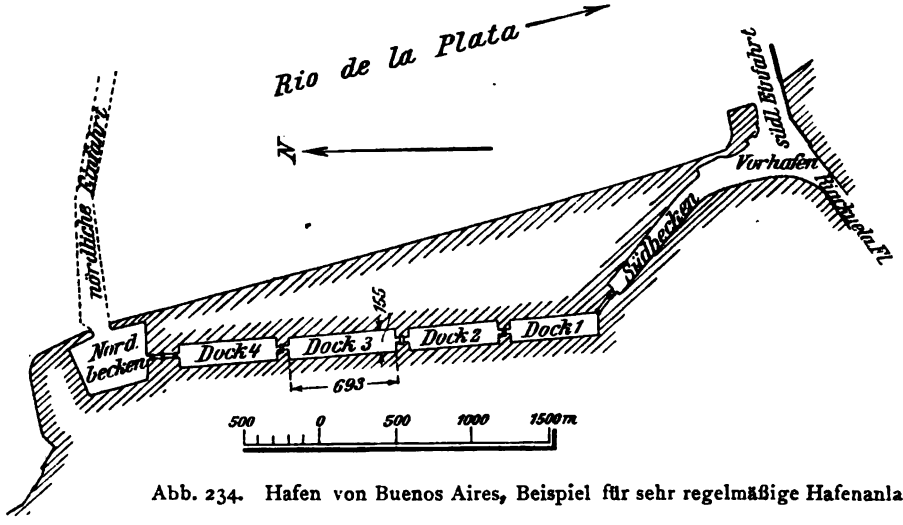


Abb. 234. Hafen von Buenos Aires, Beispiel für sehr regelmäßige Hafenanlage.

und Vorhäfen vervollständigen die Anlage und machen die Docks von zwei Seiten aus zugänglich. Eine ähnliche am Ufer sich entlang erstreckende Lage mehrerer Dockbecken zeigen die älteren Teile des Bremerhavener Hafens, (Abb. 36 auf S. 84), während die neueren Erweiterungen gegliederte Becken mit einer schräg ins Land hinein gerichteten Lage aufweisen.

Sehr regellos sind ferner die älteren, geschlossenen Teile des Harburger Hafens gestaltet (Abb. 34 auf S. 77) und ebenso die Bassins des Hafens von Le Havre (Abb. 46 auf S. 107). Sie lassen die allmähliche Entwicklung der Häfen erkennen, vergl. z. B. in Le Havre die eingeschriebenen Jahreszahlen, und zeigen, wie nach und nach einzelne Hafenflächen dem Bedürfnis entsprechend an die bestehende Anlage angeschlossen wurden, ohne daß man einen einheitlichen großen Plan aufstellte.

Da es für den Verkehr der Schiffe in einem geschlossenen Hafen von Wert ist, daß sie, ohne die Einfahrtschleusen noch einmal zu durchfahren, in andere Hafenbecken gelangen können, ist es zweckmäßig, besondere Verbindungskanäle zwischen den einzelnen Becken oder Beckengruppen anzulegen, vergl. die neuen Erweiterungen in Bremerhaven (Abb. 36 auf S. 84), wo ein langer Verbindungshafen zwischen Kaiser- und Nordschleuse angelegt wird, und den Hafen von Liverpool (Abb. 44 auf S. 102), wo kurze Verbindungskanäle in ausgedehntestem

Maße vorhanden sind. Für den Landverkehr müssen diese Kanäle mit beweglichen Brücken ausgestattet werden. Um die einzelnen Becken bezüglich des Wasserstandes unabhängig voneinander zu machen, empfiehlt es sich, die Kanäle durch einfache Schleusen mit nach jeder Seite kehrenden Torpaaren abschließbar einzurichten. Eine durch einen Unfall eingetretene oder durch Ausbesserungsarbeiten veranlaßte außergewöhnliche Absenkung des Wasserstandes kann dann auf ein Becken beschränkt bleiben.

Bei der Anlage geschlossener Hafenbecken ist endlich noch auf die Auffrischung des Wassers Bedacht zu nehmen. Am besten eignet sich dazu sinkstofffreies Wasser eines Baches, der an die Becken herangeführt und unter Umständen durch ein Absatzbecken von Sinkstoffen befreit wird.

c) Halbtidebecken. An Orten mit sehr großem Flutwechsel nehmen die Flutkurven so steile Formen an, daß die Öffnungszeit der Schleusen nur von kurzer Dauer ist. Es können nur die zu dieser Zeit vor der Schleuse oder im Hafen bereit liegenden Schiffe ein- bezw. ausfahren. Alle später eintreffenden Schiffe müssen im Vorhafen das nächste Hochwasser abwarten, wenn der Hafen keine Kammerschleusen von ausreichender Größe besitzt. Damit die im Vorhafen liegenden Schiffe jederzeit flott bleiben, muß unter dem niedrigsten Niedrigwasser noch eine ihrem Tiefgange entsprechende Wassertiefe hergestellt und unterhalten werden. Hierdurch entstehen große Kosten, wenn die Sohle des Vorhafens dadurch tiefer wird als die Reede oder die Strommündung. Außerdem erhalten die Ufereinfassungen eines solchen offenen Vorhafens ganz bedeutende Höhen und verursachen dadurch bedeutende Geldaufwendungen.

An solchen Orten, wie z. B. in London und in Liverpool, wo der Flutwechsel bei Springflut 6,30 bezw. 8,38 m beträgt, empfiehlt sich die Anlage von Halbtidebecken. Diese stellen gewissermaßen geschlossene Vorhäfen dar, unterscheiden sich aber von den geschlossenen Hafenbecken dadurch, daß in ihnen nur ein der halben Fluthöhe entsprechender Wasserstand gehalten wird. Sie stehen daher noch offen, wenn die Docks schon geschlossen sind, nehmen noch alle bis zum Eintritt der halben Tide eintreffenden Schiffe auf und werden erst dann geschlossen; ebenso öffnen sie sich wieder mit Eintritt der halben Fluthöhe und füllen sich gleichzeitig mit dem Steigen der Flut. Die Wasserstandsschwankungen in ihnen bewegen sich zwischen Hochwasser und der halben Fluthöhe, ihre Öffnungszeit entspricht der halben Dauer einer Tide.

Durch Anordnung eines Halbtidebeckens werden die oben erwähnten Nachteile offener Vorhäfen gemildert, die Tiefe ist leichter zu erhalten, und die Ufermauern werden weniger hoch (Abb. 248 auf S. 352).

Da die Halbtidebecken an die Stelle der Vorhäfen treten, so gilt bezüglich ihrer Anordnung das für diese oben Gesagte. Sie müssen vor dem von ihnen aus zugänglichen Hafenbecken liegen und so gestaltet sein, daß sie selbst leicht anzulaufen und von ihnen aus die geschlossenen Hafenbecken leicht zu erreichen sind. Sie liegen daher am günstigsten in der Längsachse des Hafenbeckens und wenn sie nur ein Hafenbecken bedienen, so daß beide Schleusen sich auf der gleichen Achse befinden, damit die Durchfahrt bei offenstehenden Schleusen schnell und bequem vor sich gehen kann (Abb. 235). Als Beispiel einer solchen Anordnung sei auf die vor dem Royal Albert-Dock und

dem Süddock der West und East India-Docks des Londoner Hafens liegende Halbtidebecken hingewiesen (Abb. 42 auf S. 100).

Sollen dagegen mehrere Hafenbecken durch ein Halbtidebecken zugänglich gemacht werden, so kommt für dasselbe eine mittlere Lage in Frage, so daß die Zugänge zu den einzelnen Becken möglichst gleich günstig liegen; doch

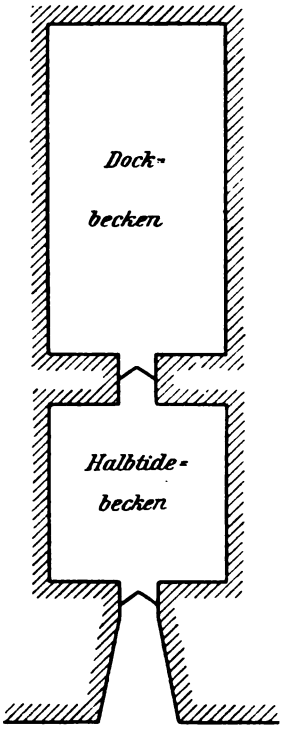


Abb. 235. Halbtidebecken vor einem Dockbecken.

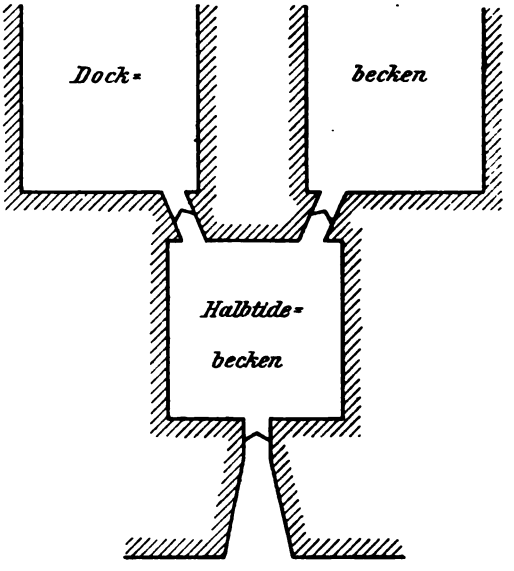


Abb. 236. Halbtidebecken vor zwei Dockbecken.

zwingen die örtlichen Verhältnisse bisweilen auch zu weniger günstigen Anordnungen. Abb. 236 u. 237 veranschaulichen zwei Möglichkeiten und zeigen, wie in dem einen Falle zwei und in dem anderen drei geschlossene Hafenbecken an ein Halbtidebecken angeschlossen werden können.

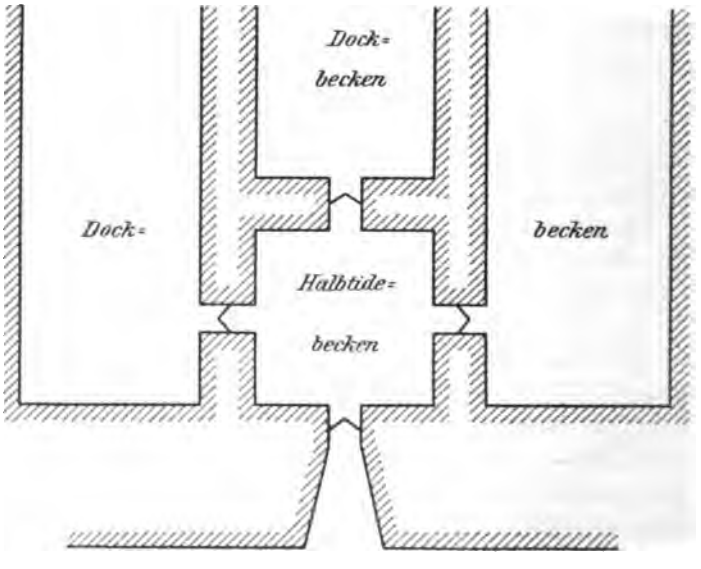


Abb. 237. Halbtidebecken vor drei Dockbecken.

Das bereits früher über die Anzahl der erforderlichen Einfahrtschleusen Gesagte gilt auch hier, es kann nötig werden, bei einer größeren Zahl von einem Halbtidebecken abhängenden Dockbecken, zwei und mehr Einfahrtschleusen anzuordnen. Betont werden mag noch, daß die Einfahrtschleusen der Halbtidebecken recht geräumig angelegt werden müssen, um die Durchfahrt der Schiffe zu erleichtern und zu beschleunigen. Beispiele für Halbtidebecken mit mehreren angeschlossenen Hafenbecken befinden sich in London vor den Ein- und Ausfuhrdocks der West und East India-Docks, ferner in Liverpool (Abb. 44 auf S. 102), wo das „neue Halbtidebecken" vier Hafenbecken und ein Trockendock zugänglich macht und das als Halbtidebecken benutzte Salisburydock Abzweigungen nach drei Seiten hin hat.

d) Anordnung der Hafenbecken für verschiedene Zwecke. Bei der Grundrißgestaltung größerer Hafenanlagen ist es in wirtschaftlicher Beziehung vorteilhaft, den einzelnen Hafenbecken bestimmte Zwecke zuzuweisen, damit der Verkehr möglichst schnell und billig abgewickelt wird. Dies wird der Fall sein, wenn die Bewegung der Güter nur in einer und derselben Richtung erfolgt, da dann Störungen durch sich kreuzende Bewegungen vermieden werden. Zu dem Zweck empfiehlt es sich daher, die Einfuhr von der Ausfuhr zu trennen, so daß in bestimmten Hafenbecken nur gelöscht oder nur geladen wird.

Ferner erfordern verschiedenartige Güter zur schnellen Förderung besondere maschinelle Einrichtungen; diese können um so vollkommener ausgebildet und dem jeweiligen Zweck umso besser angepaßt werden, je ausschließlicher sie für eine besondere Güterart bestimmt sind.

Es werden daher besondere Becken für Kohlen, für Erze, für Holz, für Getreide usw. vorteilhaft sein. Außer dem Gesichtspunkt der schnellen und billigen Förderung sprechen auch noch andere mit. Die Behandlung der Kohlen verursacht viel Staub, der es ratsam macht, die Kohlenver- oder -entladevorrichtungen da anzuordnen, wo der Staub anderen Hafenteilen nicht lästig wird. Dies wird dann der Fall sein, wenn die Kohlenplätze so liegen, daß die herrschenden Winde den Staub von den übrigen Hafenteilen forttreiben.

Der Verkehr mit Getreide erfordert ebenfalls besondere Förderanlagen und große Speicher, die da anzulegen sind, wo sie den übrigen Verkehr nicht hindern, also zweckmäßig an den Enden der Becken. Holz erfordert große Lagerplätze; Mehl ist fern von stark riechenden Stoffen, wie Früchten oder Häuten, zu halten, da es den Geruch annimmt; Vieh macht die Anlage von Stallungen, Isolierplätzen nötig usw. Alle für die einzelnen Güter herzustellenden Anlagen erfüllen ihre Aufgabe dann am besten, wenn sie nur für ein und denselben Zweck bestimmt sind.

Feuergefährliche Gegenstände werden in entlegenen oder abgeschlossenen Hafenbecken behandelt, damit etwaige Brände oder Explosionen die übrigen Hafenteile nicht in Mitleidenschaft ziehen. Petroleumhäfen müssen durch feuerfeste Schwimmpässe abgeschlossen werden, damit auf dem Wasser schwimmendes, brennendes Petroleum sich nicht ausbreiten kann. Die abgesonderte Lage der Hafenbecken für Petroleum lassen verschiedene der in Kapitel IV aufgeführten Hafenbeispiele erkennen, so z. B. der Hafen von Hamburg

(Abb. 37 auf S. 87 und Abb. 224 auf S. 330), der Hafen von Geestemünde (Abb. 24 auf S. 47), der Hafen von Rotterdam (Abb. 38 auf S. 93) und der Hafen von Marseille (Abb. 47 auf S. 109 links). Im Hafen von Genua legen die Petroleumdampfer am Ende des Molo Nuovo an und drücken ihre Ladung durch lange Rohrleitungen in die am Lande befindlichen Behälter (vergl. S. 112).

Ferner empfiehlt es sich, besondere Becken für kleine und große Schiffe anzulegen, da sie dann verschiedene Abmessungen erhalten können und für jede Schiffsgröße nur die Kosten aufgewendet werden, die unumgänglich nötig sind. Ebenso ist es zweckmäßig, Segelschiffe von Dampfern zu trennen, da die ersteren meist weniger wertvolle und eilige Güter befördern als die letzteren und daher einfachere Ausstattung der Ufer erfordern.

Eine derartige Verteilung der Hafengeschäfte auf einzelne Hafenbecken oder Beckengruppen ist naturgemäß nur möglich, wenn der ganze Hafen unter einer Verwaltung steht, z. B. eines Staates wie in Hamburg und Bremen oder einer Stadt wie in Stettin oder einer Gesellschaft wie in Liverpool und Manchester. Wenn mehrere Gesellschaften getrennte Beckengruppen anlegen, die oft nicht einmal miteinander in Verbindung stehen, ist die dem Verkehr sonst so förderliche Trennung seltener durchführbar.

II. Gestalt und Abmessungen der Hafenbecken.

Für die Gestalt der Hafenbecken kommen einfache oder zusammengesetzte geometrische Figuren in Betracht. Da schon früher ausgeführt wurde,

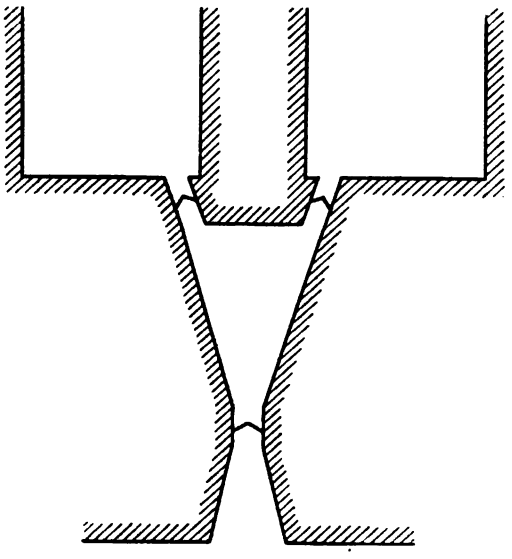


Abb. 238. Hafenbecken in Dreieckform als Halbtidebecken.

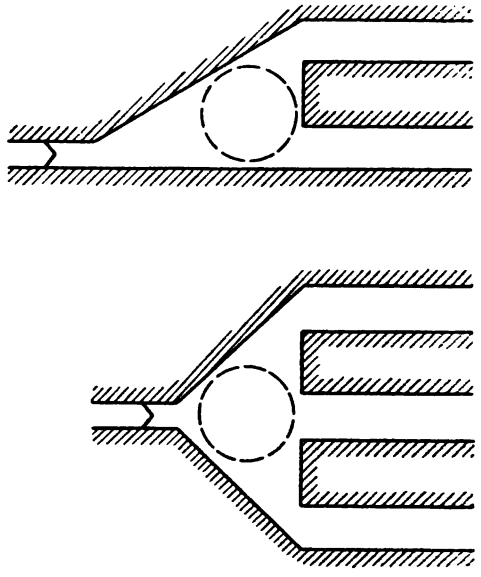


Abb. 239. Hafenbecken in Dreieckform als Hauptbecken vor Hafenbeckengruppen.

daß gekrümmte Ufereinfassungen nur bei sehr großem Halbmesser zweckmäßig sind, so kommen in erster Linie geradlinig begrenzte Flächen in Frage, während gekrümmte Linien nur ausnahmsweise zur Bildung von Übergängen zu verwenden sind.

Von den geradlinig begrenzten Flächen wird das Dreieck nur selten angewandt, da die Ausstattung seiner Ufer mit Gleisen zu Unbequemlichkeiten führt; dagegen ist es wohl brauchbar als Halbtidebecken (Abb. 238) oder als Hauptbecken für zwei oder drei Nebenbecken (Abb. 239).

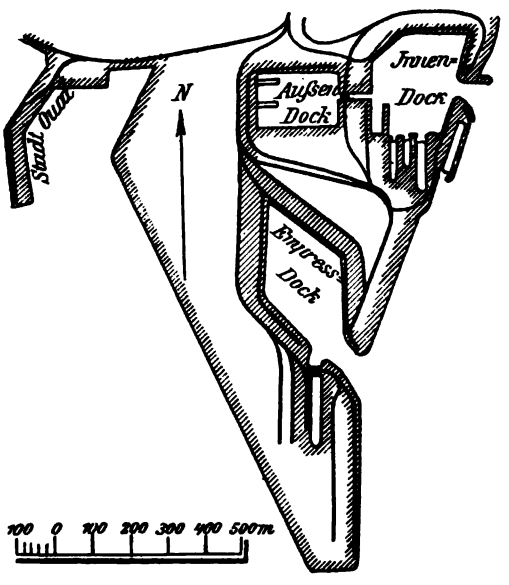


Abb. 240. Hafenbecken in Rhombusform, Empreß Dock in Southampton.

Noch seltener wird die Form des Rhombus angewandt, obgleich es nicht ungünstig zu benutzen ist. Ein Beispiel für seine Anwendung bildet das Empress Dock in Southampton (Abb. 240), das ferner zeigt, wie die Ausstattung der Ufer mit Gleisen und Schuppen keine Schwierigkeiten bereitet, wenn die Einfahrt in der Richtung der längeren Achse angelegt wird.

Die quadratische Form eines Hafenbeckens hat zwar die Annehmlichkeit, daß in ihrem Inneren reichlich Platz zum Wenden ist; sie hat aber den Nachteil, daß sie von allen möglichen Rechtecken gleicher Fläche den kleinsten Umfang besitzt und daher das Verhältnis zwischen Wasserfläche und nutzbarer Uferlänge am ungünstigsten wird.

Über dieses Verhältnis gibt folgende Überlegung Aufschluß. Bezeichnet man die lange Seite eines Rechtecks mit l, die kurze mit nl, die Fläche mit F und den Umfang mit U, so ist

$$\frac{U}{F} = \frac{2l(n+1)}{nl^2} = \frac{2(n+1)}{nl}.$$

Setzt man nun der Reihe nach für n 1, $1/2$, $1/3$, $1/4$, $1/5$, so wird

$$\frac{U}{F} = \frac{4}{l}, \frac{6}{l}, \frac{8}{l}, \frac{10}{l}, \frac{12}{l}.$$

Der Wert $n=1$ entspricht einem Quadrat, der $n=1/2$, $1/3$, $1/4$, $1/5$ einem Rechteck, dessen lange Seite 2, 3, 4, 5 usw. mal so lang ist als die kurze. Man erkennt aus den für $\frac{U}{F}$ abgeleiteten Werten nun deutlich, daß bereits bei einem Rechteck, dessen eine Seite dreimal so groß als die andere ist, das Verhältnis zwischen Umfang und Fläche bereits doppelt so groß ist als bei einem Quadrat; wenn eine Seite fünfmal so groß als die andere, ist dasselbe Verhältnis bereits dreimal so groß als beim Quadrat usf.

Aus diesen Ausführungen geht hervor, daß eine völlig oder annähernd quadratische Gestalt eines Hafenbeckens nur dann vorteilhaft ist, wenn die Schiffe in dem Becken an Bojen oder Dalben festgemacht liegen, da dann von dem

Vorzug der größten Wasserfläche bei kleinstem Umfang also auch bei geringsten Umschließungskosten Nutzen gezogen werden kann, daß aber in allen Fällen, wo die Schiffe am Ufer festmachen, die Gestalt eines langgestreckten Rechtecks die vorteilhafteste ist. Daher findet man diese Gestalt bei fast allen neueren ausgeführten und geplanten Hafenbecken, die den Vorzug besitzt, daß auch der Eisenbahnanschluß in guter Weise hergestellt werden kann, wie z. B. der Hafen von Bremen (Abb. 35 auf S. 80) zeigt.

Bisweilen sind geringe Abweichungen von der Rechteckform vorteilhaft, indem man die langen Seiten nach der Mündung des Hafenbeckens zu enger zusammenlaufen läßt, so daß ein Trapez entsteht. Eine solche Form zeigen z. B. im Hamburger Hafen (Abb. 37 auf S. 87) der Grasbrookhafen, der Moldauhafen, der Kuhwärderhafen u. a. Auch entstehen trapezförmige Hafenbecken durch die Herstellung von Hafenzungen vor einem gekrümmten oder geknickten Ufer, wie in Genua (Abb. 48 auf S. 112) und in Marseille (Abb. 47 auf S. 109) bei dem Bassin d'Arenc.

Weitere Hafenbeckenformen entstehen durch Zusammensetzung der einfachen Beckenformen zu Hafenbeckengruppen, wie sie bereits oben bei der Anordnung der Hafenbecken beschrieben und durch Abb. 231 u. 232 auf S. 335 u. 336 dargestellt sind. Sie werden ihrer äußeren Gestalt nach als Hufeisen-, Finger- oder Kammform bezeichnet. Zum Schlusse dieses Abschnitts sei noch eine Hafenbeckenanordnung wiedergegeben, die in ihren Grundzügen schon von Thomas Stevenson angegeben worden ist, in der dargestellten Gestalt aus Bryson Cunningham, Dock Engineering S. 22, entnommen ist (Abb. 241). Sie zeigt in ihrer Grundform die Gestalt eines Halbkreises, der durch eine Anzahl trapezförmiger, staffelförmig an Breite abnehmender Hafenzungen in fünf Hafenbecken zerlegt ist. Der Zugang erfolgt durch zwei Seekammerschleusen, von denen die eine stromauf und die andere stromab gerichtet ist, so daß je nach der Richtung der Tideströmung bald die eine, bald die andere benutzt werden kann.

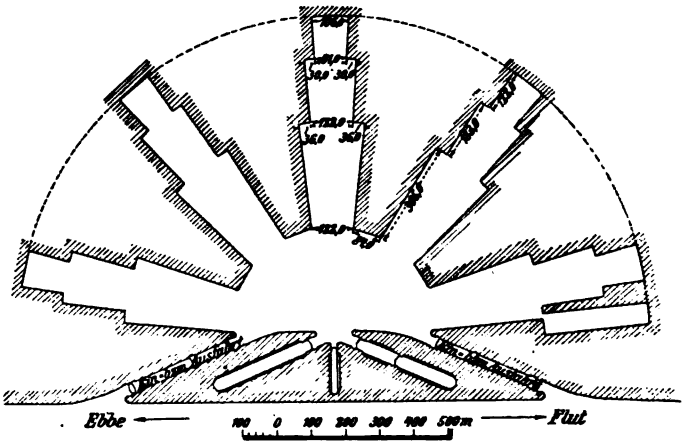


Abb. 241. Hafenbeckenanordnung nach Th. Stevenson.

Die Anordnung bietet für die Schiffe bequeme Wege zur Erreichung der einzelnen Becken, ist aber für die Herstellung des Eisenbahnanschlusses nicht sonderlich günstig gestaltet und dürfte ferner bei der Aufteilung und Ausnutzung der trapezförmigen Hafenzungen zu Unbequemlichkeiten führen.

Zusammenstellung der Längen und Breiten verschiedener neuerer Hafenbecken.[1])

1	2	3	4	5	6	7
Lfd. Nr.	Hafenort	Bezeichnung des Hafenbeckens	Länge m	Breite m	Dargestellt auf Abbildung	Bemerkungen
1	New York	Neuanlage im Stadtteil Cheltsea in der City	244 u. 251	75	216 auf S. 326	
2	„	Lloydhafen, Hoboken	i. M. 270	80	215 „ „ 325	
3	Boston	Anlage der Boston- u. Albany-Eisenbahngesellschaft . . .	236	61 u. 76	220 „ „ 328	
4	Manchester	Hafenbecken 1 bis 8	183—408	36,5—75	45 „ „ 105	
	„	Neue Hafenbecken	850	75		
5	London	Tilbury-Docks Hauptbecken . .	550	183	43 „ „ 101	
		Nebenbecken . .	490	76 u. 91		
6	Liverpool	Huskisson-Dock Hauptbecken . .	440	120	44 „ „ 102	
		Nebenbecken . .	380	90		
7	Newport	Alexandra-Dock .	765	153		
8	Avonmouth	Avonmouth-Dock .	428	153	226 „ „ 334	
9	St. Nazaire	Erstes Becken . .	580	160	227 „ „ 334	Erweiterung vor der Schleuse um 90 m
	„	Penhouët-Becken .	1200	230		
10	Harburg	Neue Becken . .	540—900	100 u. 152	34 „ „ 77	
11	Stettin	Freihafen	1200	100	29 „ „ 63	Wendeplatz 190 m
12	Bremerhaven	Kaiserhafen . . .	rd. 1400	115	36 „ „ 84	Wendeplatz 285 m
	„	Geplante Becken .	rd. 2000	125		
	„	Geplante Nordhafenbecken	1200-1300	125		
13	London	Royal Albert-Dock	2000	150	42 „ „ 100	
14	Bremen	Hafenbecken I . .	1850	120	35 „ „ 80	An beiden Enden 60 m
	„	Hafenbecken II .	1720	100		An der Einfahrt 110 m
15	Hamburg	Baakenhafen . . .	1400	125—150	37 „ „ 87	} Trapezförmig
	„	Kaiser-Wilhelm- und Kuhwärder Hafen	1070	200—240		
	„	Segelschiffhafen .	1370	160—300		
	„	Neuer Seeschiffhafen I	1800	300	224 „ „ 330	
	„	Neuer Seeschiffhafen II	1600	300		Wendeplatz 550 m
	„	Neuer Seeschiffhafen III	1450	210		
16	Antwerpen	Neue Hafenbecken	1200	200	39 „ „ 95	Wendeplatz 500 m
17	Emden	Neues Hafenbecken	rd. 1300	250	33 „ „ 74	Wendeplatz 270 m
	„	Die übrigen Becken	—	150	233 „ „ 337	

[1]) Die in der Zusammenstellung enthaltenen Hafenbecken sind auf den bezüglichen Abbildungen dargestellt.

Abmessungen der Hafenbecken. Bei der Bemessung der Hafenbecken sind Festsetzungen bezüglich der Länge, der Breite und der Tiefe zu machen.

Länge. Die Länge der Hafenbecken stellt diejenige Abmessung dar, die innerhalb der weitesten Grenzen schwankt. Während die untere Grenze dadurch gegeben ist, daß ein Schiff größter Länge in dem Becken Platz findet, ist für die obere kaum ein bestimmtes Maß anzugeben. Hervorzuheben ist aber, daß bei sehr langen Becken die Durchfahrt der Schiffe zu den Endplätzen zeitraubend und unbequem ist, daß ferner in ihnen ein für kleine Schiffe schädlicher Wellenschlag entstehen kann, wenn sie in der Richtung der heftigsten Winde liegen, und daß endlich die Trennung des Verkehrs nach verschiedenen Zwecken schwerer möglich ist als bei mehreren kurzen Hafenbecken.

Vorstehende Zusammenstellung enthält eine Anzahl Längen und Breiten neuerer Hafenbecken und gibt über die heute vorkommenden Abmessungen Aufschluß.

Wie aus Spalte 4 der Zusammenstellung zu entnehmen ist, kommen Hafenbecken bis 2000 m Länge vor, es dürfte aber auch damit ungefähr die für den Verkehr noch zulässige obere Grenze gegeben sein. Wo die Güter nicht vorwiegend auf Eisenbahngleisen befördert werden, sind derartig lange Becken für den übrigen Landverkehr wegen der weiten Wege sehr unbequem. Geringere Längen sind in allen Abstufungen vorhanden; die kleinsten Maße kommen dort vor, wo die Becken dadurch entstehen, daß Hafenzungen für einzelne Schiffe gebaut werden.

Breite. In erheblich geringerem Maße schwankt die Breite der Hafenbecken. Für ihre Bestimmung sind die Breiten der Schiffe und die in dem Hafen vorkommenden Verkehrsformen maßgebend insofern, als in den Hafenbecken, in denen die Schiffe nur von oder nach dem Ufer löschen oder laden, geringere Maße erforderlich sind als dort, wo auch noch gleichzeitig in Leichterschiffe oder auch nur in solche umgeladen wird.

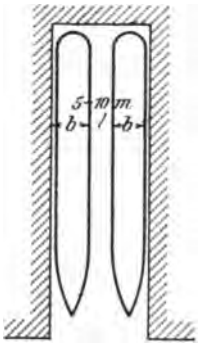


Abb. 242. Hafenbecken für zwei Schiffslängen.

Man muß daher bei der Bestimmung der Breite B eines Hafenbeckens zunächst die Breite b der größten darin verkehrenden Schiffe ermitteln und darauf unter Berücksichtigung der beabsichtigten Verkehrsart weitere Erwägungen am besten unter Aufzeichnung von Lageplan- und Querschnittskizzen durch das Hafenbecken anstellen, wobei besonders die Länge der Hafenbecken einen mitbestimmenden Einfluß ausübt, wie folgende Überlegung zeigt.

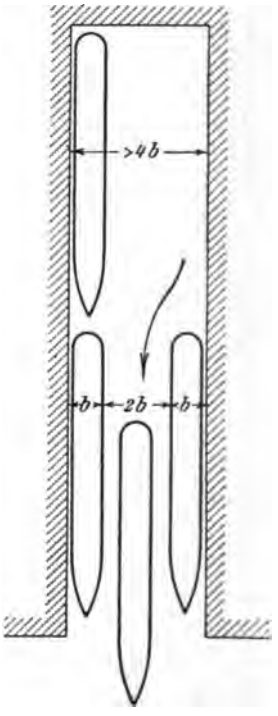


Abb. 243. Hafenbecken für eine Schiffslänge.

Bei einem kurzen, nur für eine Schiffslänge bemessenen Becken genügt es, zwei Schiffsbreiten und einen 5 bis 10 m betragenden Spielraum für die Beckenbreite festzusetzen (Abb. 242); jedes Schiff kann dann, ohne das andere zu behelligen, das Becken verlassen oder einfahren; als Beckenbreite ergibt sich in diesem Falle $B = 2\,b + 5$ bis 10 m. Wird dagegen das Hafenbecken für zwei größte Schiffslängen bemessen (Abb. 243), so muß zwischen den beiden vorderen Schiffen so viel Platz sein, daß eins der hinteren ein- oder ausfahren kann. Rechnet man für ein fahrendes Schiff die doppelte Breite, womit der Spielraum allerdings sehr reichlich bemessen wird, so ergibt sich für diesen Fall eine Beckenbreite von $B = 4\,b$. Diese Breite mag auch noch für Becken von drei Schiffslängen genügen.

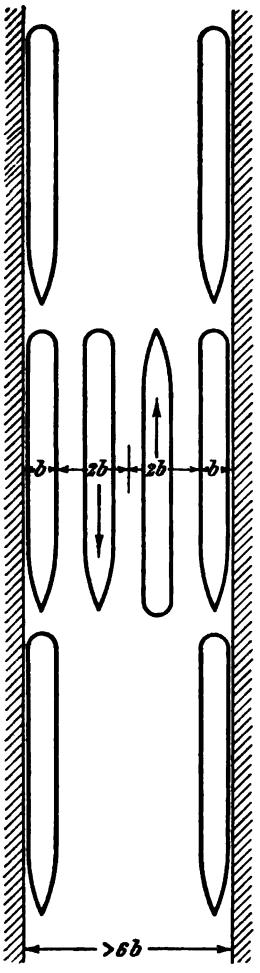


Abb. 244. Hafenbecken für mehrere Schiffslängen.

Bei bedeutend größerer Länge des Beckens muß damit gerechnet werden, daß sich in dem Hafenbecken ein aus- und ein einfahrendes Schiff begegnen können, während die Ufer besetzt sind (Abb. 244). Rechnet man wiederum für jedes fahrende Schiff den nötigen Spielraum gleich der Schiffsbreite, wodurch der Umstand berücksichtigt wird, daß größere Schiffe mehr Bewegungsfreiheit haben müssen, so ergibt sich für lange Becken eine Mindestbreite $B = 6\,b$. Es empfiehlt sich, die so bestimmten Maße um 10 bis 20 m zu vergrößern, um dem Umstand Rechnung zu tragen, daß häufig die Kohlenversorgung der Schiffe von der Wasserseite durch Prähme erfolgt oder daß andere Güter auf dem Wasserwege durch Binnenschiffe heran- oder fortgeführt werden.

Nach diesen Erwägungen ergibt sich für 15 m breite Schiffe (im Mittel 125 m lang):

im ersten Falle $B = 2 \cdot 15 + 5$ bis $10 + 10$ bis $20 = 45$ bis 60 m

im zweiten Falle $B = 4 \cdot 15 + 10$ bis $20 = 70$ bis 80 m

im dritten Falle $B = 6 \cdot 15 + 10$ bis $20 = 100$ bis 110 m;

es sind das Maße, die einer großen Anzahl der in der Zusammenstellung angegebenen Zahlen entsprechen.

Für 20 m breite Schiffe, im Mittel 180 m lang, mit denen in den großen Welthäfen mehr und mehr zu rechnen ist, würde sich ergeben:

im ersten Falle $B = 2 \cdot 20 + 5$ bis $10 + 10$ bis $20 = 55$ bis 70 m

im zweiten Falle $B = 4 \cdot 20 + 10$ bis $20 = 90$ bis 100 m

im dritten Falle $B = 6 \cdot 20 + 10$ bis $20 = 130$ bis 140 m.

Wo der Umschlag der Güter vorwiegend oder ausschließlich in Binnenfahrzeuge erfolgt, müssen deren Abmessungen bei der Festsetzung der Beckenbreite mitberücksichtigt werden.

In Hamburg z. B. wird ein großer Teil der Güter in Binnenfahrzeuge oder in Leichterfahrzeuge übergeladen; für die Schiffe, die dies ausschließlich tun, ist kein Platz am Kai erforderlich, man hat daher den neueren Hafenbecken, wie z. B. dem Kaiser-Wilhelm- und dem Kuhwärder-Hafen eine solche Breite gegeben, daß in der Mitte an einer Dalbenreihe noch zwei Dampferreihen, umgeben von Binnenfahrzeugen, Platz finden können. Dabei werden die Schiffe durch geneigt liegende Bäume von den Dalben „abgebäumt",

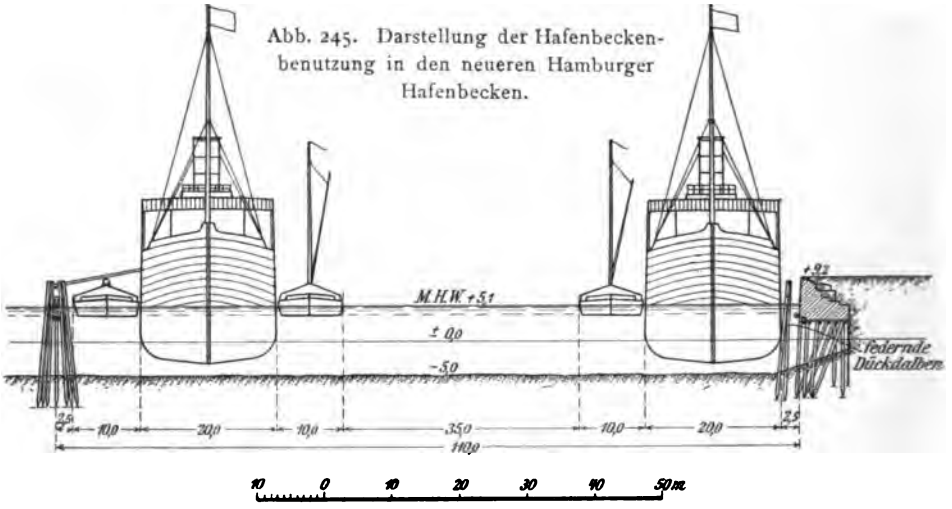


Abb. 245. Darstellung der Hafenbeckenbenutzung in den neueren Hamburger Hafenbecken.

so daß zwischen Dalben und Schiff genügend Raum für ein Binnenfahrzeug entsteht. Die dort gewählte mittlere Breite der Hafenbecken von 220 m setzt sich nach Abb. 245 für ein halbes Hafenbecken zusammen aus dem Raum

für eine nachgiebige Reibepfahlreihe	2,5 m
für ein am Kai liegendes Seeschiff	20,0 „
für ein außenbords ladendes Binnenschiff . . .	10,0 „
für die Durchfahrt eines Seeschiffes	35,0 „
für ein von der Dalbenreihe abgebäumtes Seeschiff mit zwei Binnenschiffen $20 + 2 \cdot 10 =$	40,0 „
für die halbe Dalbenbreite mit	2,5 „
zusammen	110,0 m.

Wird auch das am Kai liegende Schiff abgebäumt, so schrumpft der für die Durchfahrt einkommender oder ausgehender Schiffe verbleibende Raum auf das sehr knappe Maß von 25 m zusammen.

Es ist anzunehmen, daß dieser Umstand und die neueste Vergrößerung der Schiffsrümpfe dazu geführt hat, bei den neu geplanten Seeschiffhäfen auf Waltershof die Breite der Hafenbecken auf 300 m zu steigern. Für die Durchfahrt bleiben dann bei Annahme von 25 m breiten, abgebäumten, mit 12,5 m breiten Binnenfahrzeugen umgebenen Seeschiffen $150 - 2 \cdot 2{,}5 - 2 \cdot 25 - 4 \cdot 12{,}5 = 45$ m. Für einen ähnlichen Verkehr ist auch das im Hafen von Emden im Bau befindliche Hafenbecken bestimmt, dessen Sohlenbreite auf 250 m festgesetzt ist.

Gegenüber diesen großen Beckenbreiten sei darauf hingewiesen, daß in Bremerhaven auch für die späteren Erweiterungen nur Breiten von 125 m vorgesehen sind; der Grund ist darin zu sehen, daß hier in der Hauptsache auf den Umschlag von Seeschiff zu Eisenbahn und umgekekrt zu rechnen ist, so daß die oben angestellten Erwägungen für die Bestimmung der Beckenbreiten Platz greifen.

Bei den Hafenbecken I in Bremen (Abb. 35 auf S. 80) ist die Breite an den Enden auf die Hälfte, auf 60 m verringert worden in der Erwägung, daß an den Enden ein Begegnen von Schiffen nicht stattfindet. Diese Maßnahme ist an dem binnenseitigen Ende für die Zusammenziehung der Eisenbahngleise von Vorteil, an der Mündung des Hafenbeckens ist in der Einschränkung kein besonderer Vorzug zu erblicken.

Bisher ist bei der Bemessung der Hafenbreiten in erster Linie an die Dampfer, die heute den Verkehr beherrschen, gedacht worden. Die gleichen Gesichtspunkte gelten naturgemäß auch für die für Segler bestimmten Becken; dabei ist für geschleppte Schiffe etwa 20 bis 30 m Breite zu rechnen, für selbständig in Fahrt befindliche ungefähr das Doppelte.

Die vorstehenden Angaben über die Ermittlung der Breite von Hafenbecken erheben nicht den Anspruch, als bestimmte Regeln zu gelten, sie sollen nur zeigen, auf welchem Wege man gegebenenfalls unter Berücksichtigung der Schiffsgrößen und der Verkehrsarten zu brauchbaren Maßen kommen kann.

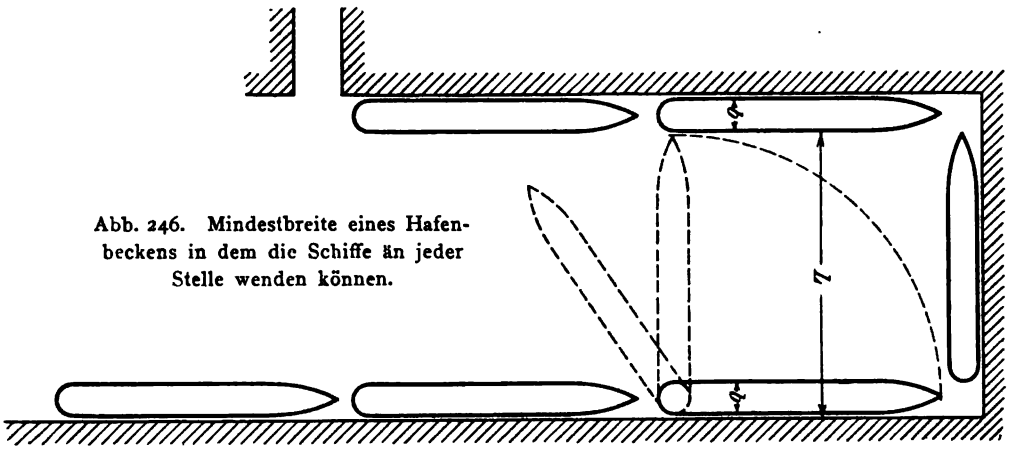


Abb. 246. Mindestbreite eines Hafenbeckens in dem die Schiffe än jeder Stelle wenden können.

Örtliche Besonderheiten müssen natürlich beachtet werden; so ist in Hafenbecken, die gleichzeitig als Fahrstraße dienen, der für die Durchfahrt bleibende freie Raum reichlicher zu bemessen, besonders, wenn auch Personendampfer darauf verkehren Auf der als Hafen dienenden Oderstrecke unterhalb Stettin ist z. B. eine Breite von 80 m jederzeit freizuhalten; alle Anlagen am Ufer müssen so weit zurücktreten, daß die an ihnen liegenden Schiffe nicht in diesen Streifen hineinragen.

Wendeplätze. Bei einer Anzahl älterer Hafenbecken sind besondere Wendeplätze nicht vorgesehen; wenn in diesem Falle die Schiffe an jeder Stelle wenden sollen, hängt die Breite des Hafenbeckens nicht von den oben

angestellten Erwägungen, bei denen die Breite der im Hafen liegenden Schiffe zugrunde gelegt worden ist, sondern von anderen ab, die die Länge der Schiffe berücksichtigen. Soll z. B. nach Abb. 246 ein Schiff an jeder Stelle des Beckens wenden können, so muß die Breite mindestens gleich einer Schiffslänge, vermehrt um eine Schiffsbreite, gewählt werden; besser ist es aber noch, einen Spielraum von etwa 20 m hinzuzufügen.

In neuerer Zeit pflegt man besondere Wendeplätze vorzusehen. Dies kann bei einzelnen Becken durch entsprechende Erweiterung des Hafenbeckens an einem Ende geschehen, wie es bei dem neuen Hafenbecken in Emden (Abb. 33 auf S. 74 und Abb. 233 auf S. 337), ferner bei dem Bassin de l'Eure in Le Havre (Abb. 46 auf S. 107) geschehen ist.

Liegt die Einfahrtschleuse in der Mitte des Hafenbeckens wie in Saint Nazaire (Abb. 227 auf S. 334), so wird die Erweiterung zweckmäßig gegenüber der Schleuse angebracht.

Die Abmessungen für die Wendeplätze sind, wie die in der Zusammenstellung auf S. 345 in Spalte 7 angegebenen Zahlen zeigen, sehr verschieden; sie schwanken je nach der Schiffslänge, mit der gerechnet wird, zwischen 190 und 550 m. Im allgemeinen genügt ein Kreis, der die einundeinhalbfache bis doppelte Schiffslänge als Durchmesser hat und die wasserseitigen Kanten der am Ufer liegenden Schiffe berührt. Meist bietet die Vereinigungsstelle mehrerer Nebenbecken mit einem Hauptbecken eine günstige Gelegenheit zur Anlage eines Wendeplatzes, wie Abb. 29 auf S. 63 in Stettin, Abb. 233 auf S. 337 in Emden, Abb. 36 auf S. 84 in Bremerhaven, Abb. 39 auf S. 95 in Antwerpen, Abb. 45 auf S. 105 in Manchester und Abb. 224 auf S. 330 in Hamburg erkennen läßt.

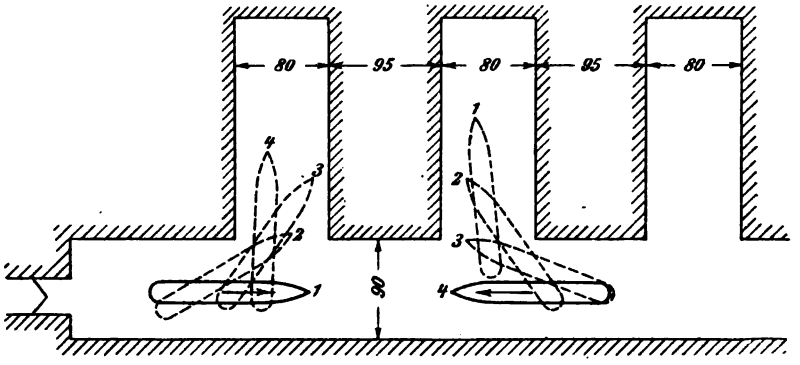


Abb. 247. Wenden eines Schiffes in Hafenbeckengruppen ohne Wendeplatz.

In diesen Fällen kann auch die Anlage eines eigentlichen Wendeplatzes unterbleiben, wenn für die Schiffe die durch Abb. 247 dargestellten Manöver vorgeschrieben werden.[1])

Über die für Fischereihäfen gebräuchlichen Benutzungen der Hafenbecken und die daraus herzuleitenden Abmessungen ist bereits auf S. 40 Näheres gegeben worden; im übrigen gilt auch hier die sinngemäße Anwendung des oben Gesagten.

[1]) Aus Quinette de Rochement et Henry Desprez, Cours de Travaux maritimes, Bd. I, S. 276.

Tiefe. Bei der Festsetzung der Tiefe der Hafenbecken ist der Tiefgang der größten den Hafen aufsuchenden Schiffe maßgebend. Bei kleineren Schiffen mit flachem Boden, besonders Fischerei- und Küstenschiffahrtsfahrzeugen, und weichem Schlickuntergrund, schadet es meist nichts, wenn sie bei außergewöhnlich niedrigen Wasserständen auf dem Grund aufsitzen; bei vielen Häfen im Tidegebiet ist dies sogar die Regel. Für große Schiffe muß jedoch dafür Sorge getragen werden, daß sie stets flott bleiben.

In offenen Hafenbecken sind daher die niedrigsten Wasserstände zugrunde zu legen. Zu dem Tiefgang der Schiffe kommt noch ein gewisser Spielraum unter dem Schiffsboden, der nicht unter 0,50 m bei ruhigem Wasser gewählt werden sollte, hinzu. Wo dagegen in den Hafenbecken noch Seegang stattfindet, ist dies Maß je nach der Schiffsgröße um $^1/_2$ bis $^2/_3$ der Höhe der größten vorkommenden Wellen zu steigern. Dies kommt besonders für die der Einfahrt zunächst gelegenen Vorhafenbecken in Betracht.

In geschlossenen Häfen muß bei der Festsetzung des Wasserstandes, der für die Tiefenbestimmung zugrunde zu legen ist, von der Flutkurve des betreffenden Ortes ausgegangen werden. Zu dem Zweck trägt man die mittlere Flutkurve des Hafenortes, diejenige für Spring- und taube Fluten und die vorgekommenen höchsten und niedrigsten Wasserstände, wie es Abb. 248 links zeigt, übereinander auf und zeichnet einen schematischen Längsschnitt durch die Hafenbecken daneben. Der Vollständigkeit wegen ist hier auch ein Halbtidebecken angenommen worden; sollte es im gegebenen Falle nicht geplant sein, so bleibt dieser Teil des Längenschnitts und die zweite Schleuse fort.

Man erkennt nun leicht, daß auf der Reede oder im Vorhafen die Wasserstandsschwankungen s_1 in vollem Umfange vor sich gehen und daß die Tiefe t_{min} von dem niedrigsten Niedrigwasser aus abzusetzen ist; dafür sind diese Hafenteile während der Dauer der ganzen Tide σ_1, d. h. immer zugänglich. Die Ufermauern müssen hier die bedeutende Höhe h_1 erhalten

In dem Halbtidebecken dagegen wird als niedrigster ein der halben Fluthöhe entsprechender Wasserstand durch die Ebbetore der Eingangsschleuse zurückgehalten; die Tiefe t_{min} ist daher von diesem Spiegel aus zu rechnen.

Sehr häufig gestattet man den höchsten Wasserständen nicht den Eintritt in den geschlossenen Hafen, um die Kaimauern nicht unnötig hoch zu machen und alle Güter entsprechend unnötig zu heben oder um Überflutungen tiefgelegener Landgebiete zu verhindern, und ordnet in der Dockschleuse schützende Fluttorpaare an. Es sei hier angenommen, daß die gewöhnlichen Springfluten noch in die geschlossenen Hafenbecken eintreten dürfen, so daß sie für diese den höchsten Hafenwasserstand darstellen.

Die Wasserstandsschwankungen bewegen sich nun in dem Halbtidebecken in dem Umfange s_2, die Öffnungszeit der Schleuse σ_2 ist gleich der Dauer der halben Tide, da die Schleusentore so lange offen stehen, als sich das Wasser über die halbe Flutgröße erhebt, und die Höhe der Kaimauern h_2 erheblich geringer als im Vorhafen.

In dem geschlossenen Hafenbecken muß der normale Hafenwasserstand unter dem gewöhnlichen (mittleren) Hochwasser angenommen werden, je nach der Steilheit der Flutkurve 0,50 m oder mehr, damit eine genügend lange

Öffnungszeit σ_3 entsteht (1 bis 2 Stunden), denn nur so lange, als sich der Wasserstand über diese Höhe erhebt, stehen die Ebbetore der Dockschleuse auf. Sie müssen in dem Augenblick geschlossen werden, wo der Wasserstand unter diese Grenze sinkt. Es empfiehlt sich ferner, noch einen niedrigsten zulässigen Hafenwasserstand so festzusetzen, daß der Hafen auch noch bei dem Hochwasser tauber Tiden oder bei sonst ungewöhnlich niedrigen Wasserständen, wenn auch nur auf kurze Zeit, zugänglich bleibt.

Von diesem Wasserstande ist dann die Mindesttiefe t_{min} auszurechnen. Die normale Öffnungszeit wird dann σ_3, bei tauben Tiden σ_4; die größten im

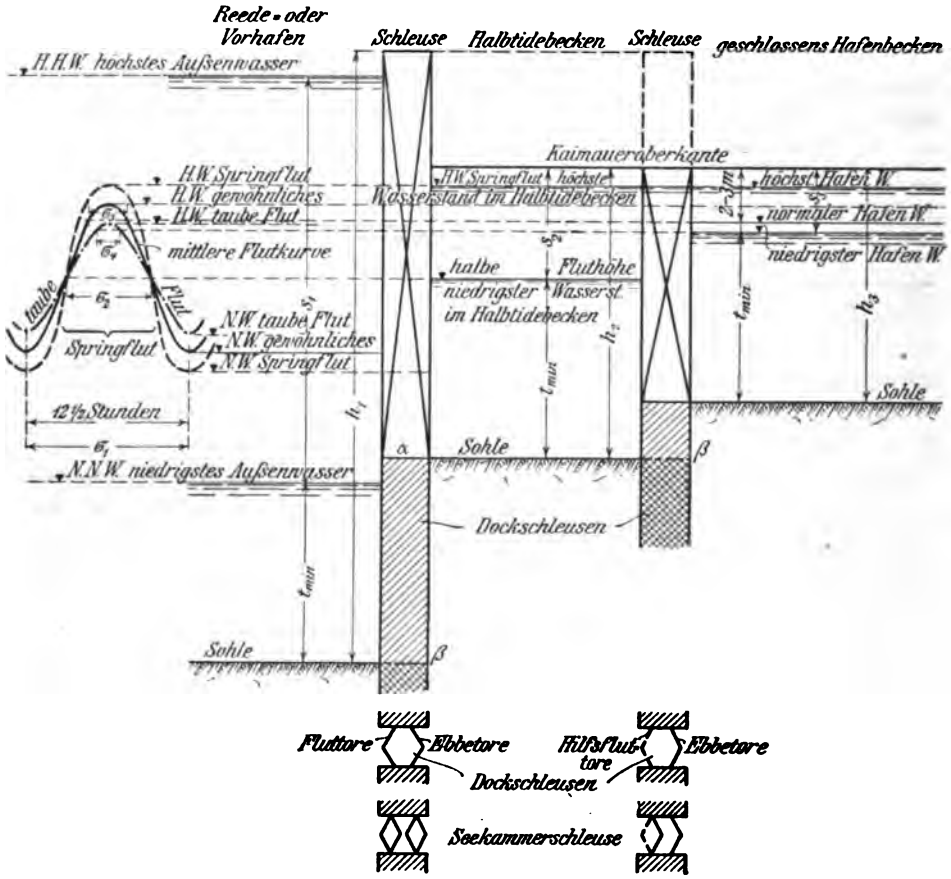


Abb. 248. Schematische Darstellung des Längsschnitts durch einen geschlossenen Hafen mit einem Halbtidebecken.

Hafen vorkommenden Wasserstandsschwankungen erreichen dann nur die Größe s_3 und die Kaimauern die geringste Höhe h_3.

Sollen die inneren Hafenbecken nicht nur zu den oben angegebenen Zeiten, sondern jederzeit zugänglich sein, so müssen an Stelle der einfachen Dockschleusen Seekammerschleusen nach der auf Abb. 248 im Grundriß angedeuteten Anordnung angelegt werden.

Bezüglich der Größe der Beckentiefe sei auf die in Kapitel I gegebenen Schiffsgrößen und die dort angeführten neuesten Hafenbauarbeiten hingewiesen.

In einigen Häfen mit sehr unregelmäßiger Fluterscheinung sind besondere, mit Schützen verschließbare Auslaßvorrichtungen angelegt worden, um den Hafenwasserstand, soweit der Tiefgang der im Hafen liegenden Schiffe es gestattet, für den Fall künstlich zu senken, wo eine ungewöhnlich niedrige Flut den Hafenwasserspiegel nicht erreichen würde und die Tore geschlossen bleiben müßten. Die Querschnitte dieser sielartigen Bauten müssen bedeutende Abmessungen erhalten, wenn sie schnell genug wirken sollen.

Anderseits sind, z. B. in Liverpool und London, einige Docks mit Pumpanlagen versehen worden, um während der Ebbe entstehende Wasserverluste zu ersetzen oder künstlich in einzelnen Becken einen höheren Wasserstand zu erhalten.

Größe der Hafenbecken. Über die den Hafenbecken zu gebende Größe ist es schwer, irgendwelche brauchbaren Angaben zu machen. Im gegebenen Falle ist die Anzahl der Schiffe zu ermitteln, die sich gleichzeitig im Hafen aufhalten werden, und danach der erforderliche Platz zu schaffen. Es empfiehlt sich, in den Lageplan die unterzubringenden Schiffe an ihren Liegeplätzen einzuzeichnen, da so am leichtesten ein Überblick über die Ausnutzung des Platzes gewonnen werden kann. Um festzustellen, ob die Schiffe die nötigen Bewegungen im Hafen leicht vollführen können, ist es ferner zweckmäßig, sich ein größtes Schiff aus Pappe auszuschneiden, auf die Zirkelspitzen zu nehmen und durch die Hafenbecken zu führen; man erkennt dann am leichtesten, wo Schwierigkeiten entstehen können.

Für die Halbtidebecken genügt es, wenn die Größe so bemessen wird, daß die Schiffe dicht nebeneinander, nur an Bojen festgemacht, auf der Wasserfläche liegen können, da dort selten gelöscht oder geladen wird. Es muß Raum für die während einer halben Tide einlaufenden Schiffe vorhanden sein.

Hafenzungen. Wenn auch die genauere Bemessung der Hafenzungenbreiten erst bei der Erörterung der Ausstattung der Kaiflächen mit Gleisen, Straßen, Schuppen, Speichern usw. im zweiten Bande behandelt werden kann, so sollen hier doch bereits einige kurze Angaben gemacht werden, die für den ersten Entwurf ausreichende Anhaltspunkte gewähren. Bei den neueren Ausführungen und Entwürfen sind folgende Breiten angenommen worden:

in Bremen	zwischen	Hafen I und II	. . . . .	200 m
„ Stettin	„	den beiden Freihafenbecken	. . . . .	190 „
„ Hamburg	„	Segelschiff- und Moldauhafen	. . . . .	150 „
„ „	„	Kaiser-Wilhelm- und Kuhwärder-Hafen	. . .	175 „
„ „	„	den geplanten Seeschiffhäfen I, II und III		200 bis 220 „
„ Lübeck	„	„ „ Freihafenbecken	. . . . .	250 „

Man sieht hieraus, daß man vorbehaltlich genauerer Ermittlungen ungefähr mit einer Hafenzunge von 200 m den heutigen Ansprüchen genügen kann. Genauer kommt man im einzelnen Falle zu zutreffenden Werten, indem man in einen Querschnitt alle auf der Zunge unterzubringenden Verkehrswege und Gebäude einzeichnet und die erhaltenen Einzelwerte zusammenzählt.

Besonders erwähnt sei hier noch die den Hafenzungen in dem Großgewerbehafen von Harburg gegebene Breite, wo außer einer 10 m breiten

Mittelstraße und je zwei an deren Seiten liegenden Gleisen 107 bis 150 m breite Kaiflächen für Fabrikanlagen vorgesehen sind, so daß die Gesamtbreiten der Zungen 270 bis 310 m betragen.

Bei dem Entwurf einer neuen Hafenanlage oder einer Hafenerweiterung ist es nötig, die Zahl der Liegeplätze über das unmittelbare Bedürfnis auszudehnen und auf Erweiterungen Rücksicht zu nehmen. Der Verkehr der Seeschiffe ist mannigfachen, oft nicht im voraus zu beurteilenden Schwankungen unterworfen; Mißernten in einem Lande, überreiche in einem anderen, kaufmännische Konjunkturen, Kriegszeiten usw. bewirken bisweilen Anschwellungen des Verkehrs, die nicht zu ahnen sind.

Nichts schadet aber dem Ruf eines Hafens mehr, als wenn die eingelaufenen Schiffe nicht sofort abgefertigt werden und längere Liegezeiten durchmachen müssen. Schiffe verdienen nur, wenn sie fahren, nicht, wenn sie im Hafen liegen, dann verursachen sie Kosten. Aus diesen Gründen empfiehlt es sich, in jedem Hafen stets für einen gewissen Überschuß an Kailänge zu sorgen und mit Erweiterungen nicht so lange zu warten, bis die vorhandenen Anlagen den Verkehr nicht mehr bewältigen können. Demjenigen Hafen gehört die Zukunft, in den große Schiffe jederzeit sicher einlaufen können und in dem sie am schnellsten und billigsten abgefertigt werden sowie Rückfracht erhalten.

Sach- und Namenverzeichnis.

Die Ziffern bedeuten die Seitenzahlen.

A.

Algier 259.
Altona, Fischereihafen 49.
Anemometer 167.
Ankergrund 19.
Anlaufhäfen 11, 21, 56.
Anstriche für Holz 221.
Antibes 253.
Antwerpen 95.
Aufschleppen 24.
Ausbesserungsanlagen 60.
Außenwerke der Häfen 245.
Ausrüstungsbecken 26.
Ausschießer, Stürme 174.
Ausstattung, Küstenfischereihäfen 40.
« Seefischereihäfen 45.
Avonmouth Dock 334.

B.

Barre 286.
Basalt 228.
Baubecken 26.
Baustoffe 216.
Beaufort, Windskala 168.
Benagelung von Holz 222.
Beruhigung der Wellen durch Öl 157.
Beton 234.
Betonkörper, Verblendung 244.
Beton, Verhalten im Seewasser 237.
Betriebseinrichtungen 56.
Binnenseehäfen 11, 56.
Binnenverkehrswege 58.
Bodenuntersuchungen 213.
Bohrwurm 219.
Bore, die 135
Boston, Pieranlage 328.
Boulogne 15, 278.
Brandung 143.
Brecher 146.
Bremen 79.
Bremerhaven 83.
Brindisi 256.
Bristol-Kanal, Flutgröße 124
Brügge 97.
Buenos Aires 338.
Buys-Ballot, Windbewegung 161.
Buzeman, Peilvorrichtung 201.

C.

Cartagena 260.
Casella, Tiefseethermometer 209.
Céara 283.
Chelsea, Pieranlage 326.
Cherbourg 16.
Chioggia 309.
Ciotat 253.
Colombo 257.
Cornaglia, neutrale Linie 266.

D.

Danzig 13, 33, 66.
Deltabildung 286.
Dichtigkeit des Betons 235.
Docks 22.
Dockhäfen 22.
« schleusen 23, 332.
Dover 15.
Dublin 304.
Dünung 137.
Dünkirchen 318.

E.

Ebbe und Flut 118.
Ebbestrom 133.
Einbauten, deklinante 271.
« inklinante 269.
« senkrechte 268.
Einzelwellen 156.
Eisen, Verhalten im Seewasser 224.
« Schutzmittel 225.
Eisenportlandzement 241.
Eisverhältnisse 178.
Emden 46, 73, 337.
Empedocle 276.
Engels, Versuche über Molen 281.
Erdbebenwellen 157.
Erzzement 241.

F.

Fäulnisgrenze 217.
Feuergefährliche Gegenstände 60.
Fischereifahrzeuge, Abmessungen 10.
Fischereihäfen 10.
Flotthäfen 22.
Flußmündungen, Maas 306.
« Mississippi 301.
« Sulina 301.
Flut und Ebbe 118.
« « « in Flußmündungen 133.
Flutgrenze 133.
« größe 119.
« kurve 129.
« strom 133
« wechsel 119.
« wellen 131.
Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen 140.
Franzius, Unterweser 136.
Freibezirke 61.
Freihäfen 61.
Frischfischfang 45.

G.

Gaillard 151.
Geestemünde, Fischereihafen 46.
Genua 111.
Geschichtliches 2.
Getreide 341.
Gerölle an Küsten 271.
Gezeitenpegel 128.
« tafeln 127.
Gibraltar, Strömungen 182.
Golfstrom 181.
Gradient 161.
Granit 228.
Greenheart 223.
Grundwasserbeobachtungen 213.

H.

Hafen von Algier 259.
« « Altona 49.
« « Antibes 252.
« « Antwerpen 95.
« « Boulogne 16, 278.
« « Bremen 79.
« « Bremerhaven 83.
« « Brindisi 256.
« « Brügge 97.
« « Buenos Aires 338.
« « Cartagena 260.
« « Céara 283.
« « Cherbourg 16.
« « Ciotat 253.
« « Colombo 257.
« « Danzig 13, 33, 66.
« « Dover 16.
« « Dublin 304.
« « Dünkirchen 318.
Hafen von Emden 73, 337.
« « Empedocle 276.
« « Haidar Pascha 261.
« « Geestemünde 46.
« « Genua 111.
« « Hamburg 50, 86, 330.
« « Hanstholm 18.
« « Harburg 76.
« « Havre 19, 106.
« « Hela 35.
« « Holyhead 257.
« « Kiel 13, 27.
« « Kingstown 259.
« « Königsberg 68.
« « Kolberg 42, 293.
« « Kuxhaven 50, 91
« « Leixoes 259
« « Libau 278.
« « Liverpool 102.
« « Livorno 264.
« « London 99.
« « Lübeck 70.
« « Madras 277.
« « Malamocco 309.
« « Manchester 104.
« « Marseille 109.
« « Memel 41, 315.
« « Miike 256.
« « Neufahrwasser 297.
« « Neukuhren 15, 35.
« « Newcastle 305
« « New York 115.
« « Nordenham 48.
« « Norderney 36, 44.
« « Ostende 18
« « Palermo 260.
« « Peterhead 257.
« « Pillau 253, 313.
« « Plymouth 261.
« « Queenstown 14.
« « Rosslarebai 282.
« « Rotterdam 92.
« « Rügenwaldermünde 298.
« « Salonichi 261.
« « Saßnitz 43.
« « Scheveningen 52, 275.
« « Snogeboek 12.
« « Southampton 343.
« « Stettin 62.
« « Stolpmünde 295.
« « Swinemünde 311.
« « St. Jean de Luz 263.
« « St. Nazaire 334.
« « Syrakus 255.
« « Triest 113.
« « Tynemouth 305.
« « Urk 36.
« « Venedig 309.
« « Wilhelmshaven 28.
« « Windau 299
« « Ymuiden 53, 273.

Hafen von Zeebrügge 17, 97, 284.
« « Zonguldak 258.
Häfen, Arten 10.
« künstliche 12.
« natürliche 12.
« geschlossene 12, 22.
« offene 12, 22.
« Großgewerbe- (Industrie-) 60.
« Tide- 12, 22.
« Vor- 23, 331.
Hafenaußenwerke 245.
Hafenbauarbeiten, neueste 6.
Hafenbecken 342.
« Anordnung 322.
« Breite 346.
« einfache 329.
« geschlossene 331.
« Gestalt 342
« Größe 353.
« Gruppen 330, 335.
« Länge 346.
« offene 322.
« Tiefe 351.
Hafeneinfahrt 248.
« « weiten 251.
Hafenzeit 127
Hafenzungen 247, 325, 353.
Haff 307.
Haidar Pascha 261.
Halbtidebecken 23, 339
Hamburg 50, 86, 330.
Handelsbeziehungen 60.
Handelsdampfer, Abmessungen 6, 9.
Handelshäfen 54.
Hansa 3.
Hanstholm 18.
Harburg 76.
Havre, Le 106
Hela 35.
Helling 24.
Hochofenschlacke 229.
Hochwasser 119.
Hochwasserlinie 135.
Holyhead 257.
Holz, Verhalten 217
Holzschädlinge 218.
Hull, Alexandradock 334.
Hydraulischer Kalk 230.
Hydraulische Zuschläge 230.

I.

Industriehäfen 60.
Inselhäfen 12, 282.
Isobaren 160.

J.

Jadebusen 14.
Jarrahholz 224.

K.

Kalk, hydraulischer 230.
Kalksteine 229.
Kalmengürtel 162.
Kammerschleuse 23.
Kiel 13, 26
Kingstown 259.
Kohlen 341.
Kolberg 293
Kolbergermünde 43.
Kompaßrose 160.
Königsberg 69.
Kreosot 221.
Kreuzer, Abmessungen 8.
Kriegshäfen 10.
Kriegsschiffe, Abmessungen 8.
Küsten, steile, flache 265.
Küstenfischerei 38, 40.
« häfen 41.
Küstenhäfen 11.
Küstensaum, bewegl 265.
« ströme 184.
Kuxhaven 50, 91.

L.

Labradorstrom 181.
Lagune 307.
Landverkehrswege 23.
« wind 163.
Leitdämme 247, 289, 321.
Leixoes 259.
Libau 278.
Lido 309.
Limnoria 220.
Linienschiffe, Abmessungen 8.
Liverpool 102.
Livorno 264.
Log, loggen 191.
Lösch- und Ladeeinrichtungen 56.
London 99.
Lübeck 70.

M

Maasmündung 306.
Madras 277.
Malamocco 309.
Manchester 104.
Marseille 109.
Mascaret 135.
Memel 42, 315.
Meyersche Flasche 209.
Miike 256.
Mischungsverhältnisse für Beton 236.
Molen 246, 272, 289.
Monsune 162.
Mörtelmischungen 240.
Mörtel, hydraulisch mit Zuschlägen 242.
Mündungshäfen 11.
Muralt, de, Peilvorrichtung 202.

N.

Naturerscheinungen 118.
Nebel 178.
Negretti und Zambra, Tiefseethermometer 209.
Neufahrwasser 297.
Neukuhren 15, 35.
Newcastle 305.
Newton 119.
New York 115.
Niederlagen, zollfreie 61.
Niedrigwasser 119.
« wasserlinie 135.
Nieuwediep 320.
Norddeutscher Lloyd, Pieranlage 325.
Nordenham 48.
Norderney 36, 44.

O.

Oberflächenströmungen 184.
Öl, Wellenberuhigung 157
Osler, Windstärkemesser 167.
Ostende 18

P.

Palermo 260.
Panzerkreuzer, Abmessungen 8.
Passatwinde 162.
Pegel, selbsttätige 128.
Peterhead 257.
Petroleum 60, 341.
Peilungen 194.
Peilstange 199.
« vorrichtungen 200.
Pfahlrostebene 218.
Piers 325.
Pillau 213, 253.
Plymouth 261.
Porphyr 228.
Portland 263.
Portlandzement 231.
Probebelastungen 213.
Puzzolan 231.

Q.

Quarantänehafen 11.
Quarzit 229.
Queenstown 14.

R.

Reede 19.
Reisendenverkehr 59.
Riff 143, 267.
Robinson, Windstärkemesser 167.
Rosslarebai 282.
Roßbreiten 162.
Rotterdam 92.
Rügenwaldermünde 298.

S.

Salonichi 261.
Salzgehalt 210.
Sand als Zuschlagstoff 234.
Sandküsten, Verhalten 264.
« stein 229.
Saßnitz 44.
Schalenkreuz-Anemometer 167.
Scheveningen 52, 275.
Schiffsabmessungen 6, 8, 9, 10
« bauanlagen 60.
« bauanstalten 24
Schlackenzement 241.
Schleuse 56, 332.
Schlick 212.
Schutzmittel für Holz 221.
Schwajen 19.
Schwellung 137.
Schwimmdock 24.
See, grobe, tote 137.
« kabbelige 146.
Seebeben 157.
« brise 163.
Seefischerei 37.
« häfen 45.
Seegang 137.
Seekammerschleuse 23, 26, 332.
Seesalz, Zusammensetzung 210.
Seeschleuse 23, 332.
Seewind 163.
Segelschiffe, Abmessungen 9.
Semaphor 177.
Sotor, Anstreichmittel 222.
Southampton 343.
Springfluten 121.
Spülung, künstliche 317.
Stecher, Peilvorrichtung 200.
Steine, als Baustoffe 227.
Stettin 62.
Stevensons Formel für Wellenabstillung 148.
St. Jean de Luz 263.
St. Nazaire 334.
Stolpmünde 295.
Strich, Kompaß- 160.
Stromhäfen 11.
Strömungen 180, 208.
« Beobachtung 190.
Sturm 165.
Sturmfluten 126, 173.
« warnungen 176.
Sturzsee 146.
Sulinamündung 301.
Swinemünde 311.
Syenit 228.

T.

Taube Flut 121.
Teredo navalis 219
Thermometer, Max.- u. Min.- 209.

Tide 119.
Tidebecken 22.
Tidehäfen 12.
Tidehub 119.
Tideströmungen 132, 182.
Tiefenmessungen 194.
Tieflot, elektrisches, 203.
Tilbury-Docks 101.
Torpedoboote, Abmessungen 8.
Traß 231.
Triest 113.
Trockendock 24.
Tynemündung 305.

U.

Ufer, gerade und gekrümmte 323.
Ungleichheiten, halbmonatliche 121.
« tägliche 122.
Urk 36.

V.

Venedig 309.
Verbindungswege 24.
Verkaufshalle, Seefischereihafen 45.
Verwaltungseinrichtungen 61.
Vitruv 3.
Vorarbeiten, technische 193.
« wirtschaftliche 215.
Vorhäfen 23.
« von geschlossenen Hafenbecken 331.

W.

Wärmebeobachtungen 208.
Wasserstände an Nordsee 176.
« « Ostsee 173.
Wasserstandsbeobachtungen 206.
Wassertiefe 19.
« in Fischereihäfen 39.
« « Seehäfen 351.
Wellen 137.
« Einzel- 156.
« Entstehung 137.
« gegen ansteigenden Grund 143.
« « senkrechte Wand 145.
« in Buchten 147.
Wellenberg 137.
Wellenberuhigung durch Öl 157.
Wellenbrecher 247.
« höhe 148.
« länge 137.
« messungen 208.
« stoß 149.
« stoßmesser 149.
« tal 137.
Wendeplatz 333, 349.
Wetterfahne 166.
« nachrichten 176.
Wilde, Windstärkemesser 166.
Wilhelmshaven 14, 29.
Wind 158.
« Arten 162.
« Entstehung 158.
« Stärke 166.
« heftigster 207.
« herrschender 207.
« ständiger 162.
« veränderlicher 163.
« zeitweise 162.
« beobachtungen 168.
« fahne 166.
« geschwindigkeit 167.
« richtungen 158, 160.
« wege 169.
« wirkung 172.
Windau 299.

Y.

Ymuiden 53, 273.

Z.

Zeebrügge 17, 97, 284.
Zement, künstlicher 230.
« natürlicher 231.
Zollfreie Niederlagen 61.
Zonguldak 258.
Zufluchthäfen 10, 22.
« Erfordernisse 33.
« Hela 35.
« Neukuhren 35.
« Norderney 36.
« Urk 36.
Zuider-See, Flutgröße 125.
Zugstraßen der Minima 165.
Zuschlagstoffe zum Mörtel 234.
Zuschläge, hydraulische 230.

UNIV. OF MICHIGAN,

FEB 5 1912